



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TURBOBOMBEO Y RIEGO
POR ASPERSIÓN EN LA COMUNIDAD DE SAN FRANCISCO
DE CUNUGUACHAY”**

**BONILLA VASCONEZ JORGE LUIS
HIDROBO NINA FAUSTO OCTAVIO**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2011

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Junio, 29 de 2011

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

BONILLA VASCONEZ JORGE LUIS

Titulada:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TURBOBOMBEO Y RIEGO POR ASPERSIÓN EN LA COMUNIDAD
DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERA MECÁNICA

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. José Riofrío
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Vicente Trujillo
ASESOR DE TESIS

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Junio, 29 de 2011

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

HIDROBO NINA FAUSTO OCTAVIO

Titulada:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TURBOBOMBEO Y RIEGO POR ASPERSIÓN EN LA COMUNIDAD
DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. José Riofrío
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Vicente Trujillo
ASESOR DE TESIS

Espoch

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: BONILLA VASCONEZ JORGE LUIS

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TURBOBOMBEO Y
RIEGO POR ASPERSIÓN EN LA COMUNIDAD DE SAN
FRANCISCO DE CUNUGUACHAY”

Fecha de Examinación: Junio, 29 del 2011

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. GEOVANNY NOVILLO A. (Presidente Tribunal Defensa)			
Ing. JOSÉ RIOFRÍO (Director de Tesis)			
Ing. VICENTE TRUJILLO (Asesor)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: HIDROBO NINA FAUSTO OCTAVIO

TÍTULO DE LA TESIS:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TURBOBOMBEO Y
RIEGO POR ASPERSIÓN EN LA COMUNIDAD DE SAN
FRANCISCO DE CUNUGUACHAY”**

Fecha de Examinación: Junio, 29 del 2011

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. GEOVANNY NOVILLO A. (Presidente Tribunal Defensa)			
Ing. JOSÉ RIOFRÍO (Director de Tesis)			
Ing. VICENTE TRUJILLO (Asesor)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES:

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Jorge Luis Bonilla Vasconez

f) Fausto Octavio Hidrobo Nina

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por habernos dado la oportunidad de vivir, a nuestros padres por ser la guía y apoyo en todo momento, un sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y un infinito agradecimiento para todos nuestros familiares, profesores, amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Jorge Luis Bonilla Vasconez

Fausto Octavio Hidrobo Nina

DEDICATORIA

A Dios por toda la sabiduría, conocimientos y tranquilidad que me ofrecía en cada momento de mi vida.

Al esfuerzo, sacrificio y amor de mi madre Elsa Velarmina Vasconez Alvarado por todo el apoyo incondicional brindado y por siempre estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida.

Al incalculable e incondicional apoyo de la familia Carrazco los mismos que me han hecho sentir como uno más de su familia, y en particular les agradezco de todo corazón.

Jorge Luis Bonilla Vasconez

A Dios por todas bendiciones que me ha dado en la vida.

Al esfuerzo, sacrificio y amor de mi madre Pilar Nina y a mis abuelitos Segundo Nina, Beatríz Toscano y Piedad Garcés, ya que gracias a ellos estoy culminando una etapa más de mi vida.

Al inmensurable e incondicional apoyo de mi papá Fausto Hidrobo, a mi hermano, hermanas y cuñado, a tío y tías, primas, sobrina y a Antonio Paredes.

A todos los amigos cercanos que compartimos todos estos años de estudio y amistad.

Fausto Octavio Hidrobo Nina

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
1. GENERALIDADES	
1.1 Antecedentes	28
1.2 Justificación.....	29
1.2.1 Justificación Técnica	29
1.2.2 Justificación Económica	30
1.2.3 Justificación Social	31
1.2.4 Justificación Ecológica	31
1.3 Objetivos	32
1.3.1 Objetivo General	32
1.3.2 Objetivos específicos	32
2. DESCRIPCIÓN GENERAL Y PARÁMETROS DE DISEÑO	
2.1 Localización geográfica y política de la zona del proyecto	33
2.1.1 Recursos Disponibles.....	35
2.1.2 Población de la Comunidad de San Francisco de Cunuguachay	35
2.2 Sistema de Turbobombeo.....	36
2.3 Sistema de Aspersión.....	36
3. SISTEMA DE TURBOBOMBEO	
3.1 Medición y determinación de los parámetros de diseño	37
3.1.1 Medición del caudal.....	37
3.1.2 Medición del salto o altura bruta	38
3.1.3 Longitud de la tubería de presión	38
3.2 Prediseño de Obras Civiles	38
3.2.1 Tanque de Presión	39
3.2.1.1 Cálculo y Selección del diámetro de la tubería de presión.....	40
3.2.1.1.1 Cálculo de la sección de la tubería de conducción	41
3.2.1.1.2 Cálculo de la velocidad del agua en la conducción	42
3.2.1.2 Volumen del tanque de presión	42
3.2.1.2.1 Altura mínima de agua sobre la tubería de presión	44
3.2.1.2.2 Cálculo de las paredes del tanque.....	45
3.2.1.2.3 Distancia entre las rejillas	46
3.2.2 Cálculo de pérdidas en la tubería de presión.....	47
3.2.2.1 Cálculo de las pérdidas primarias por fricción en la tubería	47
3.2.2.2 Cálculo de pérdidas Secundarias	49
3.2.2.3 Cálculo de las pérdidas totales	53

3.2.2.4	Cálculo del porcentaje de pérdidas	54
3.2.2.5	Cálculo del espesor de la tubería de presión	54
3.2.2.5.1	Cálculo de la sobrepresión h_s por el golpe de ariete	54
3.2.3	Cálculo de Tensiones en la tubería de presión	56
3.2.3.1	Tensión tangencial por golpe de ariete	56
3.2.3.2	Tensión longitudinal por variación de temperatura	57
3.2.3.3	Tensión longitudinal por la presión hidrostática	57
3.2.3.4	Tensión longitudinal por flexión entre apoyos	58
3.2.3.4.1	Cálculo de la longitud máxima admisible entre apoyos de la tubería de presión	59
3.2.3.4.2	Determinación de la longitud entre apoyos	60
3.2.3.5	Tensión longitudinal por variación de pendiente	61
3.2.3.6	Cálculo del esfuerzo equivalente:	62
3.2.3.7	Cálculo del coeficiente de seguridad para la tubería de presión	63
3.2.3.8	Análisis final de la tubería de presión	64
3.2.4	Chimenea de Equilibrio o Almenara	64
3.2.4.1	Cálculo de la sección transversal de la almenara	66
3.2.4.2	Cálculo de la altura de la almenara	66
3.2.4.3	Cálculo del diámetro de la almenara	66
3.2.4.4	Cálculo de la altura mínima que debe tener la almenara H_{cmin}	69
3.2.5	Apoyos	69
3.2.5.1	Dimensionamiento de los apoyos	70
3.2.5.2	Fuerzas sobre los apoyos	72
3.2.5.3	Estabilidad del apoyo	74
3.2.5.4	Condición de resistencia del terreno	77
3.2.5.5	Cálculo de la Tensión a compresión del apoyo	77
3.2.5.6	Cálculo de la Tensión a tracción:	78
3.2.6	Anclajes	78
3.2.6.1	Dimensionamiento del Anclaje	79
3.2.6.2	Fuerzas sobre los anclajes	83
3.2.6.3	Cálculo de Fuerzas Resultante en los Anclajes	88
3.2.6.4	Condiciones de Estabilidad	89
3.3	Selección y dimensionamiento de la turbina	92
3.3.1	Altura o Salto Neto	92
3.3.2	Selección de la turbina hidráulica	93
3.3.3	Parámetros fundamentales de diseño	94
3.3.3.1	Potencia hidráulica neta	94
3.3.3.2	Potencia al freno de la turbina	94
3.3.3.3	Potencia transmitida a la bomba	95
3.3.4	Velocidades específicas	96
3.3.4.1	Velocidad específica en función de la potencia de la turbina	97
3.3.4.2	Velocidad específica en función del caudal	97
3.3.5	Rango de aplicación de las turbinas hidráulicas	98
3.3.6	Diseño hidráulico	99
3.3.6.1	Cálculo del diámetro Pelton	99
3.3.6.2	Geometría de un Inyector	100

3.3.6.2.1	Dimensionamiento de la tobera.....	101
3.3.6.2.2	Dimensionamiento del inyector.....	103
3.3.6.2.3	Geometría del rodete.....	105
3.3.7	Diseño mecánico turbina Pelton	110
3.3.7.1	Diseño y cálculo del rodete	111
3.3.7.2	Resumen y Datos de la Turbina.....	111
3.3.7.3	Especificaciones técnicas de la turbina propuesto por Betta.....	113
3.3.8	Alternativas de diseño.....	114
3.3.8.1	Diseño de la Alternativa 1.....	114
3.3.8.1.1	Especificaciones técnicas de los equipos electromecánicos (MICROCENTRAL) propuesto por Betta.....	115
3.3.8.2	Diseño de la Alternativa 2.....	116
3.3.8.2.1	Especificaciones del equipo (TURBOBOMBA) propuesto por Betta.....	117
3.4	Diseño del sistema de bombeo	118
3.4.1	Introducción	118
3.4.2	Altura útil o efectiva (TDH)	119
3.4.3	Selección de la Bomba Hidráulica para la Alternativa 1	119
3.4.3.1	Selección de Diámetros Nominales adecuados para succión y descarga de la bomba	120
3.4.3.2	Cálculo de la altura útil o efectiva (TDH)	122
3.4.3.3	Cálculo de la Cabeza neta de succión positiva NPSH)d	126
3.4.3.4	Selección de la Bomba Hidráulica utilizando el Catálogo de Bombas SAER ELECTROPOMPE.....	127
3.4.3.5	Selección de la Bomba Hidráulica para la Alternativa 2	130
3.4.3.5.1	Especificaciones técnicas del equipo de Turbobombeo propuesto por Betta.....	131
3.4.3.6	Selección de Diámetros Nominales adecuados para succión y descarga de la bomba	132
3.4.3.6.1	Cálculo de la altura útil o efectiva (TDH).	135
3.4.3.6.2	Selección del Tipo de Bomba.....	140
3.4.3.6.3	Verificación de la velocidad de la bomba	140
3.4.3.7	Costos totales de cada alternativa de diseño del equipo de turbobombeo.....	141
3.4.3.7.1	Costo total de la alternativa 1.....	141
3.4.3.7.2	Costo total de la alternativa 2.....	141
3.4.3.8	Análisis y selección de alternativa más adecuada para el turbobombeo.....	141
3.4.3.9	Tubería de descarga	143
3.4.3.9.1	Dimensionamiento de excavaciones para las tuberías de descarga de acero Ø3'' y 75 mm de PVC	143
3.4.3.10	Dimensionamiento del tanque de almacenamiento	144
3.4.3.10.1	Aspectos Constructivos del tanque de almacenamiento.	144
3.4.3.10.2	Tamaño y Capacidad	145
3.4.3.10.3	Dimensionamiento del tanque reservorio	145
3.4.4	Manual de operación y mantenimiento del Sistema de Turbobombeo.....	147
3.4.4.1	Manual de Operación del sistema de turbo-bombeo.....	147
3.4.4.2	Obras Civiles	147

3.4.4.3	Bomba Hidráulica.....	149
3.4.4.4	Turbina Hidráulica	151
3.4.4.5	Libro de registro	152
3.4.4.6	Manuales y documentos del fabricante.....	152
4.	SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION	
4.1	Datos Generales del proyecto.....	153
4.1.1	Medición del caudal.....	153
4.1.2	Padrón de Usuarios y Padrón de Cultivos.....	154
4.2	Diseño Agronómico.....	157
4.2.1	Introducción	157
4.2.2	Inventario de los recursos en la unidad agrícola.....	158
4.2.2.1	Condiciones climatológicas	158
4.2.2.2	Levantamiento topográfico	158
4.2.2.3	Análisis de Suelo	158
4.2.2.4	Análisis de Agua de Riego.....	159
4.2.3	Requerimiento de agua y operación de cultivo	159
4.2.3.1	Evaporación.....	159
4.2.3.2	Transpiración	160
4.2.3.3	Evapotranspiración.	161
4.2.4	Cálculo de la evapotranspiración de referencia.....	162
4.2.4.1	Evaporación del tanque evaporímetro (Epan)	162
4.2.4.2	Coeficiente del tanque evaporímetro (Kp)	162
4.2.5	Determinación de la evapotranspiración de cultivo	165
4.2.5.1	Coeficiente de cultivo (Kc)	165
4.2.5.2	Construcción de la curva del coeficiente del cultivo	166
4.2.5.2.1	Kc – Días Siembra Cosecha – Profundidad Reticular – Agotamiento para el cultivo de alfalfa	167
4.2.5.2.2	Kc – Días Siembra Cosecha – Profundidad Reticular – Agotamiento para el cultivo de papa.....	169
4.2.6	Precipitación efectiva.....	170
4.2.6.1	Reposición.....	172
4.2.7	Determinación del calendario de riego de los cultivos	172
4.2.7.1	Determinación del agua útil para riego.....	173
4.2.7.2	Determinación de la lámina neta de riego.....	173
4.2.7.3	Determinación de la frecuencia de riego.....	174
4.2.7.4	Determinación de la lámina bruta de riego	175
4.2.7.5	Determinación del volumen de riego.....	175
4.2.7.6	Cálculo tipo	176
4.2.7.7	Calendario de riego para alfalfa	177
4.2.7.8	Calendario de riego para papa.....	179
4.2.7.9	Selección del Aspersor.....	180
4.2.7.9.1	Datos Técnicos	180
4.2.7.9.2	Aplicaciones principales	181
4.2.7.10	Pluviosidad media del sistema (Pms)	182

4.2.7.11	Tiempo máximo permisible de riego (tr)	183
4.3	Diseño Hidráulico.....	184
4.3.1	Riego Parcelario	184
4.3.2	Factores determinantes en el diseño	185
4.3.3	Análisis de Tubería de conducción de Toma a Tanque Reservorio.....	185
4.3.4	Redes de tuberías.....	187
4.3.4.1	Cálculo del diámetro de la Tubería de Conducción	192
4.3.4.1.1	Espesor de la tubería de PVC (e).....	198
4.3.4.2	Cálculo del diámetro de la Tubería Lateral 2	201
4.3.4.3	Cálculo del diámetro de la Tubería Lateral 3	204
4.3.4.4	Cálculo del diámetro de la Tubería Lateral 4	207
4.3.4.5	Cálculo del diámetro de la Tubería Lateral 1	210
4.3.4.6	Tubería de distribución	212
4.3.4.7	Elementos indispensables para el proyecto.....	213
4.3.4.7.1	Selección del Regulador de Presión	213
4.3.4.7.2	Selección de la Válvula de aire y vacío	214
4.3.4.7.3	Selección del Hidrante	215
4.4	Diseño de Obras civiles	216
4.4.1	Volumen del tanque reservorio	217
4.4.2	Dimensionamiento del tanque reservorio.....	218

5. ANÁLISIS DE COSTOS

5.1	Análisis de costos del proyecto de turbo-bombeo	220
5.1.1	Costos de Inversión	220
5.1.1.1	Costos directos	220
5.1.1.1.1	Costos de Materiales.....	220
5.1.1.1.2	Costos de Equipos y maquinaria	223
5.1.1.1.3	Costos de Mano de obra	223
5.1.1.1.4	Costos de Transporte	225
5.1.1.1.5	Costos indirectos	226
5.1.1.2	Costos Totales	227
5.1.2	Costos de Operación y Mantenimiento.....	228
5.1.2.1	Costo de Operación mensual.....	228
5.1.2.2	Costo de Mantenimiento anual.....	228
5.1.3	Beneficios	230
5.1.3.1	Valor residual de salvamento	230
5.1.3.1.1	Forma de depreciación.....	230
5.1.4	Elaboración del cuadro de flujo de caja interno	231
5.1.4.1	Ahorro por no pagar energía eléctrica para accionamiento de bomba.....	232
5.1.4.2	Cálculo del consumo mensual para el accionamiento de la bomba hidráulica:.....	232
5.1.4.2.1	Cálculo de los costos de energía eléctrica:.....	232
5.1.4.3	Cálculo del Flujo de caja interno.....	233
5.1.5	Evaluación económica	234
5.1.5.1	Cálculo del Valor actual Neto (VAN)	234

5.1.5.2	Cálculo de la relación Beneficio – Costo (B/C)	236
5.1.5.3	Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR)	237
5.1.5.4	Cálculo del tiempo de recuperación de la inversión	240
5.2	Análisis de costos del proyecto de riego por aspersión	241
5.2.1	Costos de Inversión	241
5.2.1.1	Costos Directos.....	241
5.2.1.1.1	Costos de Materiales.....	242
5.2.1.1.2	Costos de Equipos y maquinaria.	244
5.2.1.1.3	Costos de Mano de obra.....	244
5.2.1.1.4	Costos de Transporte.	245
5.2.1.2	Costos Totales.	247
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	Sistema de Turbobombeo.....	220
6.1.1	Conclusiones	220
6.1.2	Recomendaciones	221
6.2	Sistema de Riego por aspersión.....	222
6.2.1	Conclusiones	222
6.2.2	Recomendaciones	224

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

TABLA PÁGINA

3.1	COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES MATERIALES PARA TUBERÍAS DE PRESIÓN.....	12
3.2	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS EN CODOS CIRCULARES.....	24
3.3	ÁNGULOS DE LOS CODOS DE LAS TUBERÍAS EN LOS ANCLAJES...	24
3.4	COEFICIENTE DE PÉRDIDA SEGÚN EL TIPO DE VÁLVULA.....	25
3.5	VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE PRESIÓN.....	27
3.6	TENSIONES LONGITUDINALES POR FLEXIÓN ENTRE APOYOS EN LOS TRAMOS.....	33
3.7	TENSIONES LONGITUDINALES POR VARIACIÓN ENTRE APOYOS EN LOS TRAMOS.....	34
3.8	TENSIONES LONGITUDINALES POR VARIACIÓN ENTRE APOYOS EN LOS TRAMOS.....	35
3.9	COEFICIENTES DE SEGURIDAD POR TRAMOS.....	36
3.10	DIMENSIONES DE LA CHIMENEA DE EQUILIBRIO.....	39
3.11	ALTURA MÍNIMA DE LA CHIMENEA DE EQUILIBRIO.....	41
3.12	ÁNGULOS Y LONGITUDES ENTRE CAMBIOS DE PENDIENTE.....	42
3.13	DIMENSIONES GENERALES DE LOS APOYOS.....	44
3.14	COEFICIENTES DE FRICCIÓN PARA DIVERSOS MATERIALES.....	45
3.15	FUERZA EN LOS APOYOS.....	46
3.16	CONDICIÓN 1 DE ESTABILIDAD.....	47
3.17	REDIMENSIONAMIENTO DE LOS APOYOS 2 Y 3.....	47
3.18	FUERZAS EN LOS APOYOS 2 Y 3.....	47
3.19	CONDICIÓN 1 DE ESTABILIDAD DE LOS APOYOS 2 Y 3.....	48
3.20	CONDICIÓN 2 DE ESTABILIDAD.....	49
3.21	ESFUERZOS ADMISIBLES SEGÚN EL TIPO DE SUELO.....	50
3.22	ESFUERZOS DE LOS APOYOS Y CONDICIÓN DE RESISTENCIA.....	50
3.23	DIMENSIONES GENERALES DE LOS ANCLAJES.....	54
3.24	COEFICIENTE DE FRICCIÓN PARA DIFERENTES MATERIALE.....	56
3.25	FUERZAS ACTUANTES EN LOS ANCLAJES AGUAS ARRIBA.....	59
3.26	FUERZAS ACTUANTES EN LOS ANCLAJES AGUAS ABAJO.....	60
3.27	FUERZAS RESULTANTES ACTUANTES EN LOS ANCLAJES.....	61
3.28	PRIMERA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD.....	62
3.29	SEGUNDA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD.....	63
3.30	SEGUNDA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD.....	64
3.31	RENDIMIENTO DE LOS TIPOS DE TRANSMISIÓN.....	68
3.32	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS.....	70

3.33	RANGO DE APLICACIÓN DE TURBINAS SEGÚN VELOCIDADES ESPECÍFICAS.....	71
3.34	PROPORCIONES DE LA TOBERA EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO DEL CHORRO (OLADE).....	74
3.35	TABLA DE MATERIALES RECOMENDADOS PARA INYECTORES (ASTM).....	76
3.36	DIMENSIONES DE LAS CUCHARAS PELTÓN EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO DE CHORRO.....	77
3.37	NÚMERO DE CUCHARAS EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN D_p/d	79
3.38	ÁNGULOS DE TALONAMIENTO RECOMENDADOS.....	80
3.39	VALOR DEL ÁNGULO B_4 EN LA CUCHARA DEL RODETE.....	82
3.40	DIMENSIONES DE LA TOBERA.....	84
3.41	DIMENSIONES DE CUCHARAS.....	85
3.42	DIMENSIONES DEL RODETE.....	85
3.43	DETALLE DE ACCESORIOS DE LA TUBERÍA DE 4''.....	95
3.44	RESUMEN DE VARIABLES DE LA SUCCIÓN.....	95
3.45	DETALLE DE ACCESORIOS DE LA TUBERÍA DE 3'' DE ACERO.....	97
3.46	DETALLE DE ACCESORIOS DE LA TUBERÍA DE 75MM DE PVC.....	97
3.47	RESUMEN DE VARIABLES DE LA DESCARGA.....	98
3.48	SELECCIÓN DE BOMBA MULTITAPA SAER ELECTROPOMPE.....	100
3.49	DATOS DE LOS DIÁMETROS DE LA TUBERÍA DE DESCARGA.....	107
3.50	DETALLE DE ACCESORIOS DE LA TUBERÍA DE SUCCIÓN 3''.....	108
3.51	RESUMEN DE VARIABLES DE LA SUCCIÓN.....	108
3.52	DETALLE DE ACCESORIOS DE LA TUBERÍA DE 2'' DE ACERO.....	110
3.53	DETALLE DE ACCESORIOS DE LA TUBERÍA DE 3'' DE ACERO.....	110
3.54	DETALLE DE ACCESORIOS DE LA TUBERÍA DE 90 MM DE PVC.....	110
3.55	RESUMEN DE VARIABLES DE LA DESCARGA.....	111
3.56	TABLA DE ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE TURBOBOMBEO.....	114
4.1	VALORES OBTENIDOS DE LA MEDIDA DEL CAUDAL DE LA TOMA DE PILISPUGYO.....	126
4.2	PADRÓN DE USUARIOS Y PATRÓN DE CULTIVOS.....	126
4.3	PORCENTAJE DEL PATRÓN DE CULTIVOS.....	128
4.4	FACTORES DE CONSTITUCIÓN QUE DETERMINAN LA CALIDAD DE UN SUELO CULTIVABLE.....	130
4.5	DATOS ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA DE LA TOMA PILISPUGYO.....	131
4.6	DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA ESPOCH 2005 AL 2010	136
4.7	DATOS DE INFORMACIÓN CORRESPONDIENTE AL CULTIVO DE.....	140

	ALFALFA.....	
4.8	TABLA DE PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LLUVIA DEL SOFTWARE CROPWAT.....	142
4.9	TABLA DE CALENDARIO DE RIEGO PARA ALFALFA.....	150
4.10	TABLA DE CALENDARIO DE RIEGO PARA PAPA.....	151
4.11	DATOS TÉCNICOS DEL ASPERSOR X- CEL WOBBLER.....	153
4.12	ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS PVC SEGÚN EL CAUDAL.....	158
4.13	ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS PVC.....	158
4.14	CAUDALES DE CADA TUBERÍA.....	162
4.15	PARÁMETROS indispensables de las tuberías del sistema.....	164
4.16	COEFICIENTES DE CONTRACCIÓN PARA EL AGUA (CC) DETERMINADO POR WEISBACH.....	167
4.17	ACCESORIOS EN LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN.....	168
4.18	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE HAZEN – WILLIAMS PARA DIFERENTES MATERIALES.....	170
4.19	TABLA DE ANÁLISIS DE TUBERÍA DE CONDUCCIÓN.....	172
4.20	CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA LATERAL 2.....	173
4.21	ACCESORIOS EN LA TUBERÍA LATERAL 2.....	173
4.22	PÉRDIDAS EN LA TUBERÍA LATERAL 2.....	174
4.23	TABLA DE ANÁLISIS DE TUBERÍA LATERAL 2.....	175
4.24	CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA LATERAL 3.....	176
4.25	ACCESORIOS EN LA TUBERÍA LATERAL 3.....	177
4.26	PÉRDIDAS EN LA TUBERÍA LATERAL 3.....	178
4.27	TABLA DE ANÁLISIS DE TUBERÍA LATERAL 3.....	178
4.28	CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA LATERAL 4.....	180
4.29	ACCESORIOS EN LA TUBERÍA LATERAL 4.....	180
4.30	PÉRDIDAS EN LA TUBERÍA LATERAL 4.....	181
4.31	TABLA DE ANÁLISIS DE TUBERÍA LATERAL 4.....	181
4.32	ACCESORIOS EN LA TUBERÍA LATERAL 1.....	183
4.33	PÉRDIDAS EN LA TUBERÍA LATERAL 1.....	183
4.34	TABLA DE ANÁLISIS DE TUBERÍA LATERAL 1.....	184
5.1	COSTO DE MATERIALES.....	193
5.2	COSTO DE EQUIPOS Y MAQUINARIA.....	195
5.3	COSTO DE MANO DE OBRA.....	196
5.4	COSTO DE TRANSPORTE.....	197
5.5	COSTOS DIRECTOS TOTALES.....	198

5.6	COSTOS INDIRECTOS (25%).....	198
5.7	COSTOS TOTALES.....	199
5.8	DETALLE DE RUBROS DE GASTOS DE OPERACIÓN MENSUALES.	199
5.9	DETALLE DE RUBROS DE GASTOS DE HERRAMIENTAS DE MANTENIMIENTO.....	200
5.10	TABLA DE FLUJO DE CAJA INTERNO.....	205
5.11	CÁLCULO DEL VALOR ACTUAL NETO (VAN).....	207
5.12	CÁLCULO DEL VAN A DIFERENTES TASAS DE INTERÉS.....	209
5.13	CÁLCULO DEL TIEMPO DE LA RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN	212
5.14	COSTO DE MATERIALES.....	214
5.15	COSTO DE EQUIPOS Y MAQUINARIA.....	216
5.16	COSTO DE MANO DE OBRA.....	216
5.17	COSTO DE TRANSPORTE.....	217
5.18	COSTOS TOTALES.....	217
5.19	COSTOS INDIRECTOS (25%).....	218
5.20	COSTOS TOTALES.....	219

LISTA DE FIGURAS

FIGURA PÁGINA

	Carta Topográfica de San Francisco de Cunuguachay por el Instituto	
2.1	Geográfico Militar	6
2.2	Mapa Geográfico de la Comunidad de San Francisco de Cunuguachay	7
	Mapa de lotes beneficiados del proyecto de la Comunidad de San	
2.3	Francisco	8
2.4	Esquema de Sistema de Turbobombeo	8
2.5	Esquema de sistema de riego por aspersión.	9
3.1	Medición de la longitud de la tubería de presión.	11
	Esquema del Proyecto de Turbobombeo en San Francisco de	
3.2	Cunuguachay	11
3.3	Tanque de Presión.	12
3.4	Dimensiones del tanque de presión	15
3.5	Rejilla en la cámara de carga	19
3.6	Coeficientes de pérdida de la rejilla.	22
3.7	Coeficiente de entrada en la tubería	23
3.8	Esquema de Anclajes en la Tubería de Presión.	24
3.9	Tubería de presión y apoyos	28
3.10	Esquema donde se identifica los Tramos en la Tubería de Presión.	33
3.11	Esquema de una Chimenea de equilibrio o almenara.	36
3.12	Vistas de un apoyo.	42
3.13	Dimensiones generales de un apoyo.	43
3.14	Esquema general de un Anclaje.	51
3.15	Ángulos de la tubería en el plano lateral del anclaje	51
3.16	Vista lateral y dimensiones de un anclaje.	52
3.17	Esquema isométrico de un anclaje.	53
3.18	Componentes de las fuerzas de peso.	55
3.19	Fuerzas Longitudinales	56
3.20	Componente del peso de una tubería paralela a la sección de la misma.	58
3.21	Fuerzas Asociadas a las tensiones inducidas térmicamente.	58
3.22	Fuerza debida a la fricción dentro de una junta de expansión.	58
3.23	Fuerza debida a la presión hidrostática dentro de una junta de expansión.	59
3.24	Diagrama de las fuerzas que actúan en un anclaje.	60
3.25	Nomograma de selección de turbinas.	65
3.26	Eficiencias de turbinas para diferentes porcentajes de carga.	67
3.27	Tobera de turbina Pelton	73
3.28	Tobera de turbina Pelton	73
3.29	Dimensiones de un inyector de una turbina Pelton.	75

3.30	Diseño del inyector, parámetros de diseño.	77
3.31	Cuchara de turbinas Pelton.	78
3.32	Esquema de la Alternativa 1	86
3.33	Esquema de la caja de transmisión.	87
3.34	Turbina y Generador Eléctrico de Betta Hidroturbinas.	88
3.35	Esquema de la Alternativa 2	89
3.36	Turbobomba de Betta Hidroturbinas	89
3.37	Selección del diámetro de succión, alternativa 1.	92
3.38	Selección Diámetro de Tubería en la Descarga, alternativa 1.	93
3.39	Curva del fabricante- Bomba SAER electropompe 6MK65/10.	101
3.40	Turbobomba Betta Hidroturbinas P500/ 2X160.	103
3.41	Selección del diámetro de succión de la Alternativa 2.	105
3.42	Selección del Diámetro de Tubería en la Descarga de la Alternativa 2.	106
3.43	Diagrama para la selección de Tipo de Bomba.	112
3.44	Dimensionamiento de las Zanjas.	116
3.45	Tanque Reservorio.	118
3.46	Tipos de reductores	120
3.47	Tipos de reductores	121
3.48	Tipos de reductores	121
3.49	La manera de utilizar el regulador de velocidad.	124
4.1	Método del recipiente	125
4.2	Tanque de Pilispugyo	126
4.3	Patrón de Cultivos	128
4.4	Dos casos de localización del tanque de evaporación y sus alrededores	135
4.5	Esquema del ETo	137
4.6	Curva Típica del Kc	139
4.7	Curva del Kc de la alfalfa	140
4.8	Curva del Kc de la papa	141
4.9	Curvas de Precipitación	143
4.10	Diagrama de un microaspersor	152
4.11	Diagrama de un aspersor con un elevador	154
4.12	Redes de tuberías de las 22 parcelas	163
4.13	Reducción Brusca	166
4.14	Gráfica de cota vs longitud de tubería en la conducción	172
4.15	Gráfica de cota vs longitud de tubería en la lateral 2	176
4.16	Gráfica de cota vs longitud de tubería en la lateral 3	179
4.17	Gráfica de cota vs longitud de tubería en la lateral 4	182
4.18	Gráfica de cota vs longitud de tubería en la lateral 1	184
4.19	Regulador de presión RH – 1 a 1 1/4”	185
4.20	Regulador de presión RH – 1 a 1 1/4”	186

4.21	Válvula plástica de aire BVK	187
4.22	Válvula y bayoneta de acople rápido	188
4.23	Collarín de Derivación	188
4.24	Tanque Reservorio.	189
5.1	Cálculo del TIR	211

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Definición	Unidades
Q	Caudal de diseño	m^3/s
H_b	Altura Bruta	m
h_s	Altura sobrepresión por golpe de ariete	m
D	Diámetro	m
A	Área	m^2
V_o	Velocidad en la conducción	m/s
V	Volumen del tanque	m^3
g	Gravedad específica	m/s^2
a₁	Altura del agua de Tk presión del piso a la tubería	m
a₂	Altura del agua de Tk presión igual a la tubería	m
a₄	Altura máxima del tanque de presión	m
b₂	Ancho del tanque de presión	m
L₂	Longitud del tanque de presión	m
P_T	Presión en el fondo del tanque	Pa
P_A	Presión atmosférica	Pa
ρ	Densidad del agua	Kg/m^3
h	Altura	m
T	Espesor nominal de la tubería	m
S	Separación entre barrotes	cm
λ	Coeficientes de pérdidas primarias	
H_{rp}	Perdidas primarias	m

Re	Reynolds	
ν	Viscosidad cinemática del agua	m^2/s
Ks	Coeficiente de rugosidad relativa	mm
α	Inclinación de la tubería en los anclajes	Grados
e'	Espesor teórico de la tubería	mm
Kj	Factor de junta	
Kc	Factor por corrosión	mm
δt	Resistencia última a la rotura del material	MPa
a	Velocidad de propagación de la onda de presión	m
ρ_w	Densidad del agua	Kg/m^3
τ_a	Esfuerzo tangencial	
E	Módulo de elasticidad del material	Kg/m^3
F	Fuerza que produce el agua y la tubería	Kg/cm
θ	Ángulo complementario de la pendiente del campo	Grados
W	Momento resistente de la sección transversal t_b	cm^3
I	Momento de inercia	m^4
Ze	Factor de pérdida de presión del golpe de ariete	
Y_E	Sobrepresión real del golpe de ariete	m
G_s	Fuerza por el peso de apoyo	Kg/cm
F_a'	Fricción entre tuberías y apoyos	
η_{TR}	Eficiencia de la turbina	%
Ku	Coeficiente de velocidad de rotación	
C_i	Velocidad de chorro a la salida del inyector	m/s
Kp	Coeficiente del tanque evaporímetro	
Epan	Evaporación del tanque evaporímetro	$mm/día$

ET_o	Evapotranspiración del cultivo de referencia	mm/día
L_n	lámina neta	mm
L_b	lámina bruta de riego	mm
Z	Profundidad de la zona Radicular	mm
J	Pérdidas de carga por cada metro de tubería	
σ_{adm}	Tensión máxima admisible	kg/cm ²
VAN	Valor actual Neto	\$
TIR	Tasa interna de retorno	\$

LISTA DE ABREVIACIONES

INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Ecuador
INAR	Instituto Nacional de Riego
MCH	Micro Central Hidroeléctrica
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua
FAO	Organización para la Agricultura y la Alimentación
NPSH)_d	Cabeza Estática de descarga
CADERS	Proyecto de Competitividad Agropecuaria y Desarrollo Rural Sostenible

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1.1:**Convenio de cooperación interinstitucional ESPOCH-CADERS
- ANEXO 2.1:**Adjudicación de toma de agua para turbobombeo de comunidad de San Francisco de Cunuguachay
- ANEXO 3.1:**Tubería BIAx de PLASTIGAMA
- ANEXO 3.2:**Especificaciones de tubería a-53 gr. B DIPAC.
- ANEXO 3.3:**Propiedades del agua
- ANEXO 3.4:**Rugosidad absoluto ks para diferentes materiales utilizadas en la fabricación de tuberías
- ANEXO 3.5:**Diagrama de Moody
- ANEXO 3.6:**Coeficiente de resistencia de válvulas y accesorios
- ANEXO 3.7:**Eficiencia de turbinas
- ANEXO 3.8:**Ficha técnica de BettaHidroturbinas
- ANEXO 3.9:** Presupuesto de generador de BettaHidroturbinas
- ANEXO 3.10:**Estimación de liquidación de importación de la microcentralBetta
- ANEXO 3.11:**Presupuesto de turbobombeo de BettaHidroturbinas
- ANEXO 3.12:**Estimación de liquidación de importación de la turbobombaBetta
- ANEXO 3.13:**Propiedades físicas de materiales para tuberías
- ANEXO 3.14:**Catálogo de bomba multietapa SAER 6mk65
- ANEXO 3.15:**TurbobombaBettaHidroturbinas
- ANEXO 3.16:**Planos de base de fijación para turbobomba
- ANEXO 3.17:**Planos esquema eléctrico del cuadro de comando y control
- ANEXO 4.1:**Factores de constitución que determinan la calidad de un suelo cultivable
- ANEXO 4.2:**Análisis de agua de la vertiente Pilispugyo de San Francisco de Cunuguachay .
- ANEXO 4.3:**Coeficientes de tanque evaporimetro (kp)
- ANEXO 4.4:**Tabla de valores del coeficiente kc,correspondiente a distintos cultivos y etapa de desarrollo de los mismos y valores cunes de altura. (FAO – 56)
- ANEXO 4.5:**Catálogo tubería pvc divicion agricola
- ANEXO 4.6:**Datos técnicos del aspersor
- ANEXO 4.7:**Catálogo plastigama de perdidas de accesorios de tubería pvc
- ANEXO 4.8:**Catálogo de pérdidas en tubería de polietileno
- ANEXO 4.9:**Catálogo de accesorios para selección
- ANEXO 5.1:**Cotización de tuberías de acero (IPAC)
- ANEXO 5.2:**Plan de mantenimiento del sistema de turbobombeo
- ANEXO 5.2:**Costos de mantenimiento del sistema de turbobombeo
- ANEXO 5.2:**Potencia de la bomba
- ANEXO 5.2:**Plan tarifario de la empresa eléctrica riobamba s.a. (eersa)
- ANEXO 5.2:**Tasas de interés vigentes del banco central del ecuador
- ANEXO 5.2:**Factores de interés para evaluación económica
- ANEXO 5.2:**Flujo de efectivo discreto

RESUMEN

El Diseño de un Sistema de Turbobombeo y Riego por Aspersión será para beneficio de la Comunidad de San Francisco de Cunuguachay mediante un convenio de CADERS con la Escuela de Ingeniería Mecánica para un mayor desarrollo social, tecnológico y económico de la comunidad.

Para el sistema de turbobombeo donde se cuenta con un caudal de 16.5 lt/s y una caída bruta de 150m, se selecciona una turbina tipo Pelton de la empresa brasileña BETTA HIDRORTURBINAS tipo P500 conjuntamente con dos bombas de desplazamiento positivo modelo 2x160 las cuales erogarán un caudal de 360 m³/día. Además la tubería de presión de diámetro 6 plg con material de acero A53 grado B cédula 40 de la empresa DIPAC, así también la tubería de descarga será del mismo material con un diámetro de 2" con una longitud de 4m, de 3"x300m y tubería PVC de la empresa PLASTIGAMA con un diámetro de 75mm. También se realizó el diseño de las obras civiles como anclajes, apoyos, tanque de presión y tanque reservorio de 360 m³. El costo del sistema de turbobombeo es de 165.407,10 USD.

El sistema de riego por aspersión está diseñado para 22 parcelas. Con agua de la toma de Pilispugyo con un caudal de 0.3 lt/s; se aplica un estudio agronómico en la que se recomienda un sistema de riego semifijo contando con un tanque reservorio de 40m³, instalando una tubería de conducción, 4 tuberías laterales y tuberías de distribución con aspersores tipo Xcel WOBBLER de la empresa PLASTIGAMA. El costo del sistema de riego por aspersión es de 11.092,54 \$.

SUMMARY

The Turbo-pumping and Spinkling Irrigation System Design will be for the benefit of the Community San Francisco de Cunuguachay through the agreement CADERS with the Mechanical Engineering School for a better social, technological and economic community development.

For the turbo-pumping system, with a caudal of 16.5l/s and a rough fall of 150m, a Pelton Type Turbine of the Brazilian enterprise BETTA HIDROTURBINAS type P500 together with two positive displacement pumps, model 2x160 which will give 360m³/day caudal, is selected. Moreover the pressure piping consists of 6plg with A53 grade B card 40 steel of the enterprise DIPAC; likewise the discharge piping will be of the same material with a diameter of 2" with a length of 4m 3"x300m and PVC piping of the PLASTIGAMA enterprise with a diameter of 75mm. The design of the civil works such as anchorage, support, pressure tank and reservoir tank of 360m³. The turbo-pumping system cost is 165.407,10USD.

The sprinkling irrigation system is designed for 22 plots with the water from Pilispugyo with a caudal of 0.3l/s; and agronomical study is applied in which it is recommended to use a semi-stady irrigation system with a 40m³ reservoir tank installed in a conduction piping, 4 side pipings and delivery pipings with sprinklers Type Xcell WOBBLER of the PLASTIGAMA enterprise. The sprinkling irritation system cost is 11.092,54USD.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

En las actuales condiciones de vida del sector rural es necesaria la aplicación de tecnología apropiada para el desarrollo y mejoramiento de la calidad de vida. La Unidad de Gestión del Proyecto de Competitividad Agropecuaria y Desarrollo Rural Sostenible "Proyecto CADERS" con su misión de contribuir al "BUEN VIVIR" de las familias rurales y comunidades costeras mediante la generación y aplicación de la política de desarrollo rural, interviniendo de manera integral en la problemática agraria, da la oportunidad a egresados de la escuela de Ingeniería Mecánica para desarrollar proyectos encaminados a

satisfacer estas necesidades, formulando y ejecutando trabajos de investigación teóricos – prácticos de aplicación a nuestro medio de acuerdo a convenio firmado entre estas dos Instituciones.¹

En la comunidad de San Francisco de Cunuguachay donde viven cerca de 40 familias, cuya economía como en la mayoría del sector rural de nuestro país está basada en la agricultura. Dicha comunidad tiene una extensión de terreno aproximadamente de 40 hectáreas, no siendo cultivado en su totalidad por falta de un sistema de bombeo y técnicas de riego adecuado, a pesar de que existe tomas de agua que se originan de la filtración de la montaña dando un recurso hídrico natural insuficiente en dicho lugar.

Esta zona climatológica es apta para cultivar y cosechar productos como maíz, quinua, papa, alfalfa, zanahoria y otros, pero la aspiración de esta población es sembrar un solo tipo de cultivo que de la apertura para competir a nivel nacional e internacional, y así beneficiar el desarrollo socio-económico del sector.

Con lo antes expuesto se identificó que la comunidad de San Francisco de Cunuguachay tiene la necesidad de contar con la implementación de un sistema de Turbo-bombeo además de un sistema de riego por aspersión, con el fin de aprovechar los recursos hídricos existentes, y por ende garantizar el abastecimiento del agua de riego para el sector agrícola de la zona. Esto implica que la producción agropecuaria no va a depender de las condiciones climáticas del lugar.

1.2 Justificación

1.2.1 Justificación técnica

El Ecuador posee abundantes recursos hídricos como vertientes y ríos que no son aprovechados de forma adecuada, de ahí que, paradójicamente encontramos en muchos

¹Ver Anexo 1.1

lugares del país terrenos áridos, no cultivables por falta de agua, como es el caso de la Comunidad de San Francisco de Cunuguachay.

Nuestro estudio va encaminado en aprovechar los recursos hídricos y las condiciones geográficas del lugar con el fin de transformar la energía de fluido y poder aprovechar dicha energía para bombear parte del caudal de agua de la vertiente existente, hacia un lugar de mayor altura de donde se distribuirá el agua para regar sus campos.

La potencia que se generará aprovechando la caída de agua es de aproximadamente 20 Kw, con esta potencia se podrá bombear hasta 7litros/s, con lo cual se dotará de agua de riego a aquellas parcelas que no disponían de la facilidad de agua para riego.

Además, el realizar un diseño por aspersión para 22 parcelas que tiene un área de 1,61 hectáreas, este proyecto brindará un avance técnico en la comunidad tanto en el trabajo agropecuario como en la distribución equitativa de agua para todos los beneficiados del proyecto.

1.2.2 Justificación económica

En San Francisco de Cunuguachay la topografía presenta tierras que no son utilizadas para el cultivo por falta de agua de riego, lo que causa pérdidas para el sector agrícola de esta localidad y también ocasiona un estado de deterioro de los campos, que podrían ser aprovechados tanto en la agricultura y ganadería.

Con este proyecto se pretende proveer de agua a un sitio de esta zona necesitada, con la ventaja que no tendrán que pagar la energía que se utilizaría en el sistema de bombeo, ya que ésta se generará a partir de la reutilización de un caudal y un salto de agua.

Con el aprovechamiento de un sistema de riego por aspersión se podrá optimizar el trabajo de cultivo con lo cual mejorará la producción agrícola del sector dando así un beneficio económico y de desarrollo.

Al ejecutarse este proyecto mejorarán las condiciones de producción agrícola y ganadera de la comunidad de San Francisco, porque contarán con un caudal suficiente para

que sea utilizado en parcelas donde el agua es difícil de conseguir, además sumado a la capacidad de trabajo de sus pobladores, quienes con sus propios recursos se convertirán en productores agropecuarios.

1.2.3 Justificación social

Con este tipo de proyectos se generará empleo y elevará la calidad de vida de los moradores de las zonas involucradas, permitiendo que la propia comunidad sea la impulsadora de desarrollo y riqueza.

Esta situación conllevará a mitigar la migración hacia la ciudad de la gente de San Francisco de Cunuguachay, además se reactivará el sector agropecuario.

Estos proyectos pueden ser englobados en uno solo para de esta manera tener un proyecto completo capaz de ser presentados a entidades gubernamentales, provinciales y nacionales e incluso Organismos Internacionales para su financiamiento.

1.2.4 Justificación ecológica

El sistema de turbo-bombeo es una aplicación de las energías alternativas como la hidráulica, la ventaja es que produce una energía limpia, no contaminante, sin desechos tóxicos.

Este proyecto tiene un efecto medio ambiental mínimo, ya que las obras civiles son pequeñas, y la transformación de la energía es un proceso netamente mecánico, lo cual no necesita combustibles ni la utilización de sustancias contaminantes, por lo tanto no produce ningún tipo de desecho.

Con respecto al caudal de la vertiente, solo se captará una parte de él, en función del caudal ecológico que se debe mantener para no afectar al ecosistema local. Parte del agua captada es destinada al riego de campos.

El método de distribución de agua de la toma de Pilispugyo es solo por gravedad, de tal manera que no se utiliza ningún tipo de máquina que necesite de combustible o electricidad para su funcionamiento.

En consecuencia el proyecto estará favoreciendo a la recuperación de suelos y a la renovación de la vegetación en dichas zonas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de turbobombeo y riego por aspersión en la Comunidad de San Francisco de Cunuguachay.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar las opciones más factibles para que el sistema de turbobombeo tenga una vida útil de al menos 20 años.
- Evaluar las diferentes alternativas de diseño del sistema de turbobombeo para el sector.
- Seleccionar los equipos y materiales que garanticen el funcionamiento adecuado del proyecto, como bombas hidráulicas, tuberías, aspersores, válvulas, etc.
- Diseñar las obras civiles tanto en la conducción como en los tanques de almacenamiento y reservorios del sistema de turbobombeo y en el sistema de riego por aspersión.
- Realizar un estudio general del tipo de suelo, calidad de agua para riego, topografía, patrón de cultivos, patrón de usuarios y clima para obtener información, para aplicar a un adecuado diseño para el sistema de riego por aspersión
- Establecer el análisis económico para el proyecto.

CAPÍTULO II

2. DESCRIPCIÓN GENERAL Y PARÁMETROS DE DISEÑO

2.1 Localización geográfica y política de la zona del proyecto

La zona de San Francisco de Cunuguachay se encuentra ubicada en la Parroquia Calpi, del Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo, ubicada en la sierra al centro sur de la Provincia a 25 Km de la ciudad de Riobamba y a 10 Km de la vía Panamericana sur Riobamba – Calpi.

La comunidad se encuentra asentada en una zona de topografía irregular y el sitio donde va el sistema de turbobombeo presenta pendientes pronunciadas incluso el lugar por donde se va a construir el proyecto es a un lado de un canal de riego ya existente.

Según la carta topográfica editada por el Instituto Geográfico Militar (Ver Fig. 2.1) el lugar se ubica sobre la cota de 3360 m.s.n.m., el clima es frío con una temperatura promedio anual que oscila entre 6 y 15 °C.

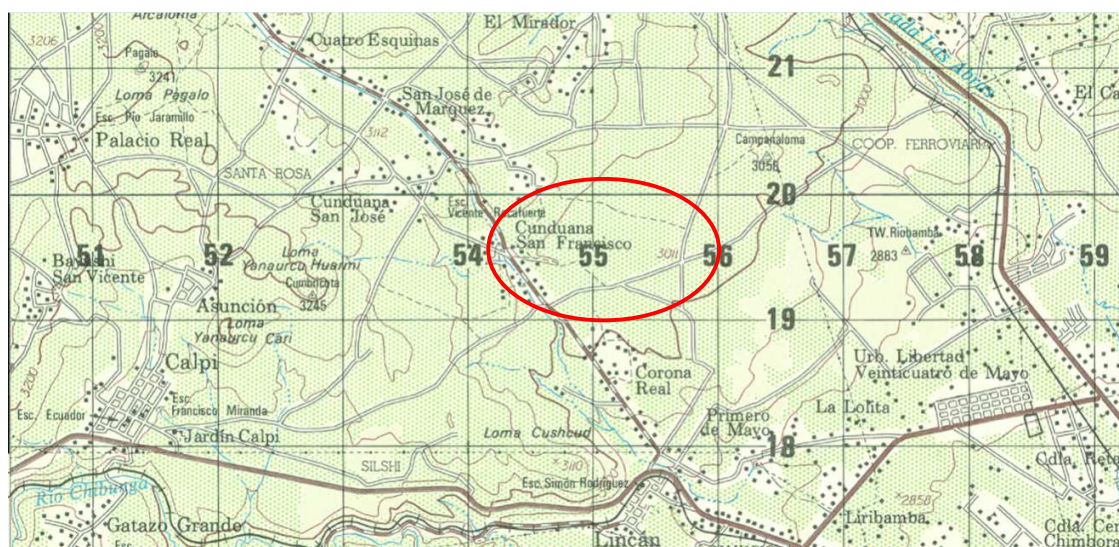


Figura 2.1 Carta Topográfica de San Francisco de Cunuguachay por el Instituto Geográfico Militar



Figura 2.2 Mapa Geográfico de la Comunidad de San Francisco de Cunuguachay²

² <http://maps.google.com/maps?hl=es&tab=wl>

En lo referente a la ocupación el 72.8% corresponde a la población en edad de trabajar (12 años y más). La población Rural tiende a disminuir debido a la migración hacia las ciudades y la falta de oportunidades en su terreno.

2.2 Sistema de turbobombeo

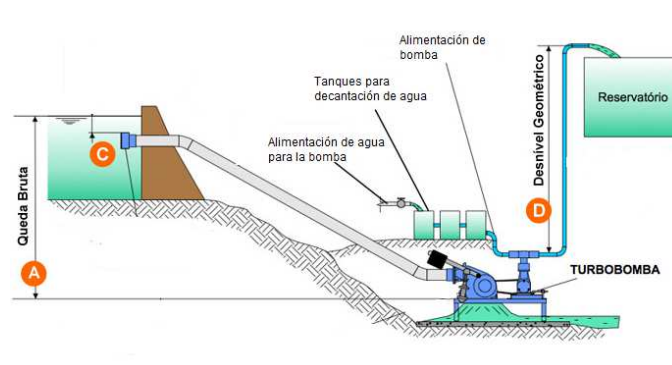


Figura 2.4Esquema de Sistema de Turbobombeo

En un sistema de turbobombeo el caudal de agua y el salto o altura son potencia útil de tal manera que se convierte la energía potencial y cinemática en energía mecánica en el eje de la turbina, la cual mediante bandas o cadena se transmite la potencia a una bomba, ésta puede ser de desplazamiento positivo o bomba centrífuga, con el objetivo de enviar fluido a una distancia y altura deseada donde se encontrara el tanque reservorio.

2.3 Sistema de aspersión.

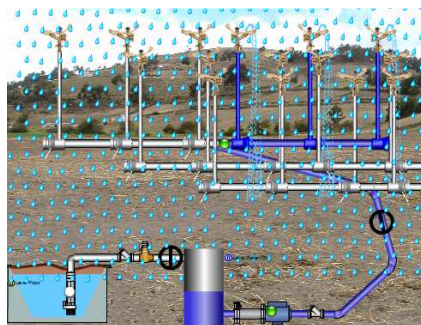


Figura 2.5Esquema de sistema de riego por aspersión.

Es el sistema de riego que utilizaremos en el proyecto, en este sistema se utilizan accesorios como aspersores, hidrantes, bayonetas, tuberías para la distribución del agua; para el funcionamiento de estos accesorios se necesita que el agua trabaje con presión.

El agua entonces es conducida a través de tuberías para abastecer a los aspersores cintas de riego a goteo y goteros individuales autocompensados.

En el proyecto se aprovechará la topografía del terreno o desnivel para generar o ganar presión en la conducción del agua, de tal forma que los aspersores puedan trabajar eficientemente.

El riego por aspersión consiste en la aplicación del agua al suelo en forma de lluvia. Esta lluvia se produce por el paso del agua a través de las boquillas de los aspersores.

CAPÍTULO III

3. SISTEMA DE TURBOBOMBEO

3.1 Medición y determinación de los parámetros de diseño

3.1.1 Medición del caudal

Como lo expusimos en el capítulo 2, el caudal a utilizar en el turbobombeo está adjudicado en el SENAGUA (Secretaría Nacional del Agua) dando el siguiente dato⁴:

$$Q = 16.5 \frac{lt}{s}$$

$$Q = \frac{16.5lt}{s} * \frac{1 gal}{3.785 lt} * \frac{60s}{1min} = 261.53 GPM$$

⁴ Anexo 2.1

3.1.2 Medición del salto o altura bruta

Se realizó mediciones de alturas por medio del método altímetro obteniendo los siguientes valores:

- Altura donde va el tanque de presión: 3512 m
- Altura donde va la turbina: 3362m

Dando una altura bruta de:

$$H_b = 150m$$

3.1.3 Longitud de la tubería de presión

La longitud de la tubería de presión se midió entre la toma del tanque de presión y el punto donde se instalara la turbina, por medio de un flexómetro obteniéndose la siguiente distancia:

$$L_1 = 270m$$



Figura 3.1 Medición de la longitud de la tubería de presión.

3.2 Prediseño de obras civiles

Para este proyecto no es necesaria la realización de obras civiles como bocatomas, desripador o desarenador, ya que la toma de agua viene directamente de un canal de riego en servicio en la comunidad, pero es indispensable un tanque de presión.

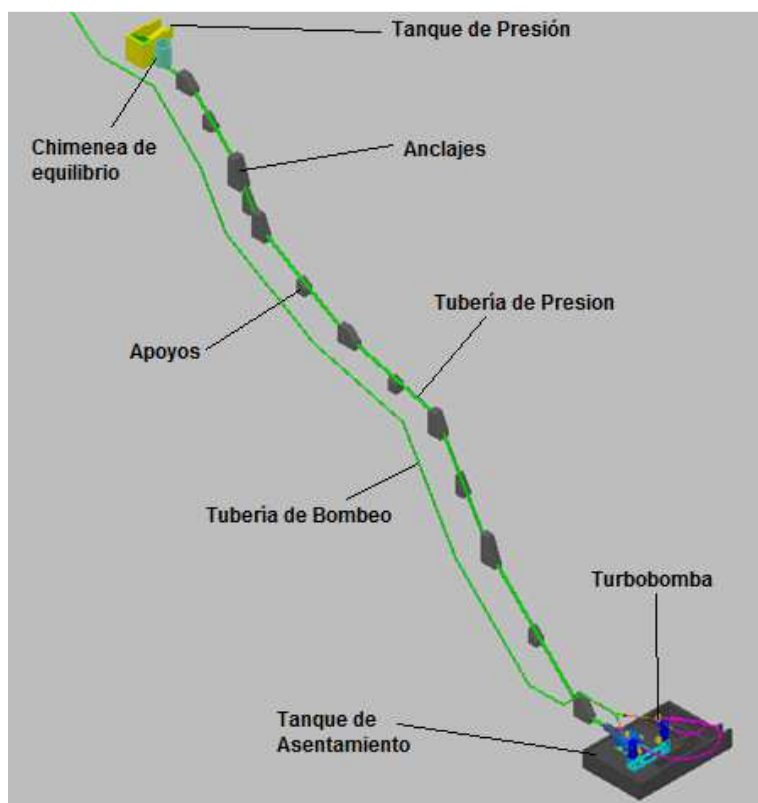


Figura 3.2 Esquema del Proyecto de Turbobombeo en San Francisco de Cunuguachay

3.2.1 Tanque de presión

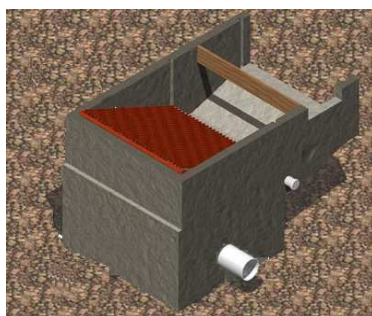


Figura 3.3 Tanque de Presión.

En el dimensionamiento del tanque de presión se debe considerar principalmente el volumen y la altura mínima del agua sobre la tubería de presión, para ello debemos determinar el diámetro de tubería en primer lugar.

3.2.1.1 Cálculo y selección del diámetro de la tubería de presión

La tubería de presión transporta agua bajo presión desde el tanque de presión hasta la turbina, por lo que la selección es uno de los parámetros más importantes para el buen funcionamiento del sistema, para lo cual debemos considerar los materiales frecuentemente utilizados en estas instalaciones, tomando en cuenta lo diferentes tipos de uniones, su peso y grado de dificultad de la instalación, costo, transporte hasta el sitio de instalación, y entre otros factores importantes para su selección.

Las bondades de cada uno de los materiales utilizados en tuberías de presión se detallan en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1 COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES MATERIALES PARA TUBERÍAS DE PRESIÓN

Material	Pérdida por fricción	Peso	Corrosión	Costo	Presión de trabajo
Acero Comercial	3	3	3	2	5
PVC	5	5	4	4	4
Polietileno	5	5	5	3	4

Rango: Malo = 1, Excelente = 5.

El diámetro de la tubería de presión, se determina con una ecuación según Bondschú. [1]

$$D = 1.27 * \frac{Q^{0.4268}}{(H_B + h_s)^{0.1423}} \quad (3.1)$$

Donde:

Q = Caudal de diseño, [m³/s].

H_B = Altura bruta, [m].

h_s = Altura sobrepresión por golpe de ariete, [m]. Este valor es igual a 0.3 H_B .

$$D = 1.27 * \frac{(0.0165)^{0.4268}}{(150 + 0.3 * 150)^{0.1423}} = 0.142 \text{ [m]}$$

Para la selección de la tubería de presión se presentará 2 alternativas de materiales:

- Tubería de PVC de Plastigama BIAx de las siguientes características:⁵[3]

Diámetro Nominal: 160 mm

Diámetro Interior: 153 mm

Espesor Nominal: 3.5 mm

Presión de trabajo: 1.25 MPa = 181 Psi = 12.75 Kgf/cm²

Rugosidad Absoluta: 1.5x10⁻⁶ m

Módulo de elasticidad del material: 27580 Kgf/cm²

Resistencia última a la tensión: 45 MPa

Esfuerzo máximo admisible: 30 MPa

- Tubería de acero sin costura A53 grado B cédula 40 de la empresa DIPAC con las siguientes características:⁶[3]

Diámetro Nominal: 6 plg

Diámetro Interior: 146.36 mm

Espesor Nominal: 10.97 mm

Presión de trabajo: 2740 Psi = 193 Kgf/cm²

Rugosidad Absoluta: 0.000046 m

Módulo de elasticidad del material: 2.11x10⁶ Kgf/cm²

Resistencia última a la tensión: 415 MPa = 60 Kpsi

Esfuerzo máximo admisible: 173.75 MPa = 25.2 KPsi

La tubería a seleccionar es la de acero por su instalación a la intemperie, con un diámetro interior de 146.36 mm, con un diámetro externo de 168,3 mm y un espesor de 10,97 mm.

3.2.1.1.1 Cálculo de la sección de la tubería de conducción [4]

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3.2)$$

⁵Anexo 3.1.

⁶Anexo 3.2.

$$A = \frac{\pi(0.14636)^2}{4} = 0.01682 \text{ m}^2$$

3.2.1.1.2 Cálculo de la velocidad del agua en la conducción [4]

$$V_0 = \frac{Q}{A} \quad (3.3)$$

$$V_0 = \frac{0.0165}{0.01682} = 0.98 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.2.1.2 Volumen del tanque de presión [6]

El volumen del tanque de presión con el fin de mantener constante el caudal que entra a la tubería de presión y evitar el ingreso de aire, lo determinamos con la ecuación:

$$V = \frac{0.693 * A * V_0^2}{i * g} \quad (3.4)$$

Donde:

V = Volumen del tanque. $[\text{m}^3]$

A = Sección del canal o tubería de conducción. $[\text{m}^2]$

V_0 = Velocidad del agua en la conducción. $[\text{m/s}]$

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$ Aceleración de la gravedad. $[\text{m/s}^2]$

$i = 1\% = 0.01$ Pendiente

Para una tubería de 6 pulgadas para la conducción del agua, tenemos los siguientes datos:

$$A = 0.01682 \text{ m}^2$$

$$V_0 = 0.98 \text{ m/s}$$

Reemplazando todos los datos obtenidos en la ecuación (3.4) el volumen del tanque es:

$$V = \frac{0.693 * 0,01682 m^2 * (0,98 m / s)^2}{0.01 * 9.8 m / s^2}$$

$$V = 0.82 m^3$$

4.2.1.3 Dimensionamiento del tanque de presión [7][8] [9]

En el dimensionamiento del tanque de presión se debe considerar principalmente el volumen y la altura mínima del agua sobre la tubería de presión.

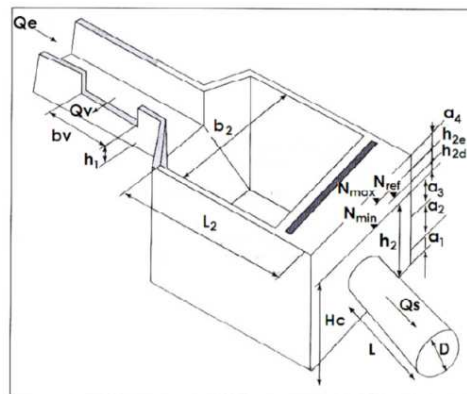


Figura 3.4 Dimensiones del tanque de presión

En primer lugar se debe seleccionar una altura a_1 que evite en lo posible la entrada de posibles sedimentos. Según Ortiz esta altura debe estar comprendida entre 0,3 y 0,5 m.

$$a_1 = 0,4 m$$

La altura a_2 debe ser similar al diámetro de la tubería de presión, por lo que se fijará en 0.15m.

$$a_2 = 0,15 m$$

Para que el torbellino creado por el flujo del caudal no genere cavitación debe dejarse un nivel mínimo equivalente a: [9]

$$0,5D \leq a_3 \leq 1,5D \quad (3.5)$$

Donde D es el diámetro de la tubería en m.

$$a_3 = 0.25m$$

3.2.1.2.1 Altura mínima de agua sobre la tubería de presión

El costo de la estructura del tanque de presión aumenta con el incremento de la profundidad a la que está colocada la salida de la tubería de presión, por esta razón para una máxima economía ésta debe estar lo más alta posible. Pero por otro lado, esta situación es un poco peligrosa debido a que se puede formar remolinos que permitan la entrada de aire a la tubería ocasionando problemas en la misma y afectando la eficiencia de la turbina. El problema entonces consiste en establecer que altura bajo el nivel del agua debe quedar la parte superior de la tubería considerando el aspecto económico y evitando la zona en que se producen remolinos para alcanzar una buena eficiencia hidráulica.

Obteniendo una altura mínima del tanque de:

$$h_2 = a_1 + a_2 + a_3 \quad (3.6)$$

$$h_2 = 0.4m + 0.15m + 0.25m$$

$$h_2 = 0.80m$$

La altura máxima de agua sobre la tubería de presión se puede calcular con las ecuaciones (3.7) y (3.8): [9]

$$\text{Para salida frontal de flujo: } a_4 = 0.543 * V_o * \sqrt{D} \quad (3.7)$$

$$\text{Para salida lateral de flujo: } a_4 = 0.724 * V_o * \sqrt{D} \quad (3.8)$$

Donde:

a_4 = altura máxima [m]

V_o = Velocidad en la tubería de presión. [m/s]

D = Diámetro interior de la tubería de presión. [m]

Como en nuestro caso es de salida lateral obtenemos el siguiente valor tomada de la ecuación (3.8):

$$a_4 = 0.724 * 0.98m/s * \sqrt{0.1463m}$$

$$a_4 = 0.271m$$

En cámaras de carga se deben considerar el efecto del golpe de ariete se toma una distancia a_4 de seguridad con un valor mínimo de 0,4m [9].

$$a_4 = 0.4m$$

$$h_T = h_2 + a_4 \quad (3.9)$$

$$h_T = 0.80m + 0.4m$$

$$h_t = 1.2m$$

Además el volumen del tanque es igual a:

$$V = h_t * L_2 * b_2 \quad (3.10)$$

Recomienda Ortíz que para un volumen del tanque de presión menor a 1 m³ se adopte un valor al ancho del tanque b_2 entre 0.7m y 0.9m. Para este proyecto se tomará un valor intermedio de 0.8m.

Y despejamos L_2 para determinar la longitud del tanque:

$$L_2 = \frac{V}{h_t * b_2}$$

$$L_2 = \frac{0.82m^3}{1.2m * 0.8m}$$

$$L_2 = 0.85m$$

3.2.1.2.2 Cálculo de las paredes del tanque[9]

Este cálculo es para determinar de qué material se construirán las paredes del tanque, para ello debemos encontrar la presión en el fondo del mismo con la siguiente ecuación: [9]

$$P_T = P_A + (\rho * g * h) \quad (3.11)$$

Donde:

P_T = presión en el fondo del tanque.

P_A = presión atmosférica (72746.82 Pa)

ρ = densidad del agua (999.084 Kg/m³)

g = aceleración de la gravedad (9.8 m/s²)

h = altura (1.2m)

$$P_T = 72746.82 + (999.084 * 9.8 * 1.2) = 84496.047 \text{ Pa}$$

$$P_T = 0.008449 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Como la resistencia del hormigón armado es de $2.1 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$ es mayor a la presión en el fondo del tanque, las paredes se construirán de hormigón armado.

3.2.1.2.3 Distancia entre las rejillas[6]

Para evitar la entrada de materiales flotantes en la tubería de presión, se debe instalar rejillas finas las cuales producen una pérdida de carga que se calcula con la siguiente expresión: [6]

$$h_f = B \left(\frac{t}{s} \right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V_1^2}{2g} * \text{sen } A \quad (3.12)$$

Donde:

t = Grosor del barrote (0.75cm)

s = Separación entre barrotes y depende del tipo de turbina: (2cm)

V_1 = Velocidad de aproximación, valor comprendido entre 0.5 y 1.2 (0.5m/s) [2]

B = Coeficiente que varía de acuerdo a la sección transversal del barrote (2.42 para pletinas comunes) [2]

A = Angulo de inclinación de la rejilla con respecto a la horizontal por la limpieza de la rejilla (50° para limpieza a mano) [2]

$$h_f = 2.42 \left(\frac{0.75}{2} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{0.5^2}{2 * 9.8} \text{sen} 50^\circ = 0.087 \text{m}$$

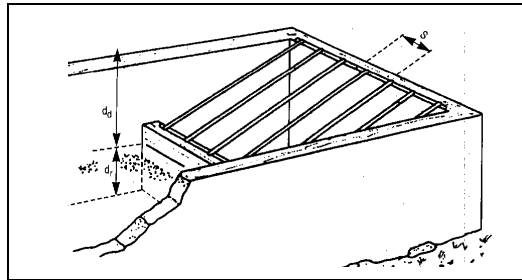


Figura 3.5 Rejilla en la cámara de carga

3.2.2 Cálculo de pérdidas en la tubería de presión

Las pérdidas de energía se producen debido a dos factores: pérdidas por fricción del agua contra las paredes del tubo a lo largo de la longitud de la tubería (pérdidas primarias), y pérdidas por turbulencia en los accesorios (pérdidas secundarias).

3.2.2.1 Cálculo de las pérdidas primarias por fricción en la tubería. [6]

Las pérdidas primarias se calculan con la ecuación de DARCY WEISBACH:

$$H_{rp} = \lambda * \frac{L * V^2}{2Dg} \quad (3.13)$$

Donde:

λ = Coeficientes de pérdidas primarias

L = longitud de la tubería [m]

V = velocidad del agua en las tuberías [m/s]

D = Diámetros de las tuberías [m]

g = gravedad de la tierra [9,81 m/s]

Calculo del número de Reynolds (R_e) con la siguiente ecuación:

$$R_e = V_0 * \frac{D}{\nu} \quad (3.14)$$

Donde:

V = velocidad del agua en la tubería [m/s]

ν = viscosidad cinemática del agua [m^2/s]

D = diámetro interno de la tubería [m]

La temperatura del agua tiene en un promedio de $12^\circ C$, la viscosidad cinemática a esta temperatura es de 1.24×10^{-6} , interpolando valores del Anexo 3.3 además de los siguientes datos ya obtenidos:

$$Q = 16.5 \text{ lt/sg} = 0.0165 m^3/s$$

$$D = 146,36 \text{ mm} = 0.14636 \text{ m}$$

$$V_0 = 0.98 m/s$$

Cálculo del número de Reynolds de la ecuación (3.14):

$$Re = 0.98 * \frac{0.14636 m^2 / s}{1.24 * 10^{-6} m^2 / s} = 109709.498$$

El coeficiente de rugosidad depende netamente del material de la tubería de acero es de:⁷

$$Ks = 0.046 (mm)$$

Aplicando la ecuación de FANNO para determinar el coeficiente de fricción λ :

⁷ Anexo 3.4

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\frac{Ks}{D}}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (3.15)$$

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\frac{0.046}{146.36}}{3.7} + \frac{5.74}{109709.498^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$\lambda = 0,01930$$

Comparamos el valor obtenido de igual modo con el Diagrama de Moody:⁸

En donde:

$$\frac{Ks}{D} = \frac{0.046}{146.36} = 0.00031421$$

Dando un valor aproximado de $\lambda = 0,019$

Reemplazando los datos obtenidos, las pérdidas primarias son:

$$H_{rp} = \lambda_1 * \frac{L_1 * V_1^2}{2D_1 g}$$

$$H_{rp} = 0.019 * \frac{270 * 0.98^2}{2 * 0.14636 * 9.81}$$

$$H_{rp} = 1.745m$$

3.2.2.2 Cálculo de pérdidas secundarias

a) Cálculo de la pérdida en la rejilla hr: [6]

⁸ Anexo 3.5

$$h_r = E_R * \frac{V_T^2}{2 * g} \quad (3.16)$$

Donde:

E_R = Coeficiente de pérdidas en función a la forma de los barrotes de la rejilla (Fig.3.6).

V_T = Velocidad del agua entrante [m/s].

g = Aceleración de la gravedad, [m/s²].

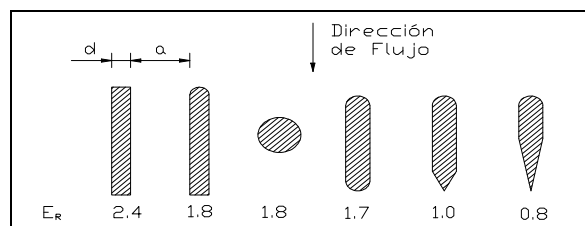


Figura 3.6 Coeficientes de pérdida de la rejilla. [9]

Se escoge la rejilla que tiene un coeficiente de 2.4 que es de fácil construcción.

$$h_r = 2.4 * \frac{0.98^2}{2 * 9.8}$$

$$h_r = 1.179$$

b) Cálculo Pérdidas en la entrada de la tubería h_E [4]

$$h_E = E_E * \frac{V_T^2}{2g} \quad (3.17)$$

Donde:

E_E = Coeficiente de pérdidas por entrada de tubería (Figura3.7)

V_T = Velocidad del agua entrante [m/s].

g = Aceleración de la gravedad, [m/s²].

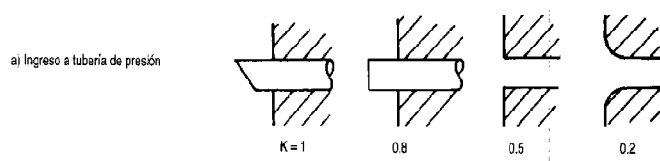


Figura 3.7 Coeficiente de entrada en la tubería

Se toma la entrada

$$h_E = 0.5 * \frac{0.98^2}{2 * 9.8}$$

$$h_E = 0.245$$

c) Cálculo de la pérdida de los codos Σh_K [4]

$$h_K = \sum E_K * \frac{V_T^2}{2g} \quad (3.18)$$

Donde:

E_K = Coeficiente de pérdida para codos circulares en función del ángulo (Tabla 3.2)

V_T = Velocidad del agua entrante [m/s].

g = Aceleración de la gravedad, [m/s²].

Tabla 3.2 COEFICIENTE DE PÉRDIDAS EN CODOS CIRCULARES⁹

α (grados)	10	<u>15</u>	22.5	<u>30</u>	<u>45</u>	60	90
E_K	0.044	<u>0.062</u>	0.154	<u>0.165</u>	<u>0.320</u>	0.684	1.265

Para determinar los codos que se necesitan en toda la tubería de presión, ésta se ha dividido en tramos según el cambio de pendiente que presenta. A continuación se muestra en la Figura 3.8 y en la Tabla 3.3 con los tramos que se van a considerar.

⁹Anexo 3.6

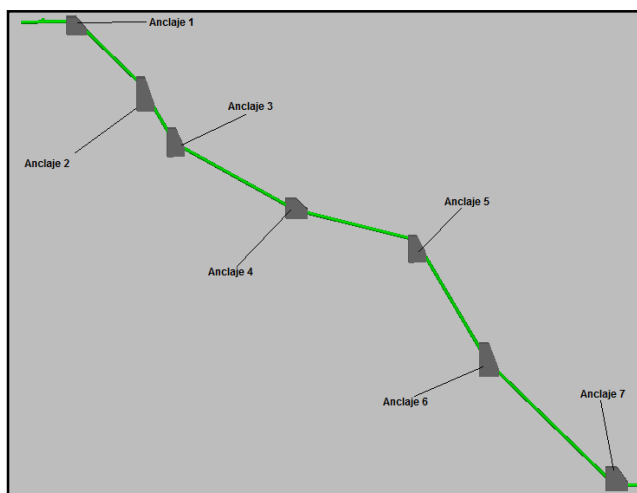


Figura 3.8 Esquema de Anclajes en la Tubería de Presión.

Tabla 3.3 ÁNGULOS DE LOS CODOS DE LAS TUBERÍAS EN LOS ANCLAJES

Nº Anclaje	θ_1 [°]	E_k
1	45	0,32
2	15	0,062
3	30	0,165
4	15	0,062
5	45	0,32
6	15	0,062
7	45	0,32

Donde:

N^o = números de anclajes de tuberías

α = Inclinación de la tubería en los anclajes, [°].

La suma total de los coeficientes de pérdida para codos circulares es de 1,352:

$$h_r = 1.352 * \frac{0.98^2}{2 * 9.8}$$

$$h_r = 0.6624$$

d) Cálculo de la pérdida en la válvula [4]

$$h_v = E_v * \frac{v_T^2}{2g} \quad (3.19)$$

Donde:

E_V = Coeficiente de pérdida por la válvula (Tabla 3.4)

V_T = Velocidad del agua a la entrada de la tubería [m/s].

g = Aceleración de la gravedad, [m/s²].

Tabla 3.4 COEFICIENTE DE PÉRDIDA SEGÚN EL TIPO DE VÁLVULA.

TIPOS DE VÁLVULAS	E_V
Válvula mariposa	0.2 - 0.4
Válvula esférica	0.1
Válvula anular	1.2 - 2.5

$$h_r = 0.2 * \frac{0.98^2}{2 * 9.8}$$

$$h_r = 0.1$$

3.2.2.3 Cálculo de las pérdidas totales [4]

Las pérdidas totales se calculan sumando las pérdidas primarias por fricción por longitud de tubería y las pérdidas secundarias relacionadas con la turbulencia en los accesorios que se calculó anteriormente.

$$H_{RT} = h_r + h_E + h_V + h_K + h_{fricc} \quad (3.20)$$

Donde:

H_{RT} = Pérdidas totales, [m].

h_r = Pérdidas en la rejilla, [m].

h_E = Pérdidas en la entrada de la tubería, [m].

h_V = Pérdidas en la válvula, [m].

h_K = Pérdidas en los codos, [m].

h_{fricc} = Pérdidas por fricción en la tubería, [m].

$$H_{RT} = 1.745m + 1.179m + 0.245m + 0.6624m + 0.1m$$

$$H_{RT} = 3.9314m$$

3.2.2.4 Cálculo del porcentaje de pérdidas [5]

$$\% \text{ Pérdidas} = \frac{100 * H_{RT}}{H_B} \quad (3.21)$$

Donde:

H_{RT} = Pérdidas totales, [m].

H_B = Altura Bruta, [m].

$$\% \text{ Pérdidas} = \frac{100 * 3.9314}{150} = 2.89\%$$

Según la referencia [5] se recomienda que el porcentaje de pérdidas totales entre el 3% y 11%, caso contrario se selecciona un diámetro mayor sin perder de vista la importancia del factor económico.

3.2.2.5 Cálculo del espesor de la tubería de presión [5]

$$e' = \frac{5 * f_s * (H_B + h_s) * 10^6 * D * K_j}{\delta t} + K_c \quad [\text{mm}] \quad (3.22)$$

Donde:

e' = Espesor teórico de la tubería, [mm].

K_j = Factor de junta. Para el acero con juntas soldadas $K_f = 1.1$

f_s = Factor de seguridad de 3.

K_c = Factor por corrosión. Para el acero $K_c = 2\text{mm}$ para 20 años de vida.

h_s = Sobrepresión por golpe de ariete, [m].

δt = Resistencia última a la rotura del material. Para el acero $\delta t = 415 \text{ MPa}$.

3.2.2.5.1 Cálculo de la sobrepresión h_s por el golpe de ariete [5]

La presión transitoria puede expresarse como caída de agua:

$$h_s = \frac{a * V_o}{g} \quad (3.23)$$

Donde:

V_o = velocidad del agua en las tuberías [m/s].

g = gravedad de la tierra[9,81 m/s].

a = velocidad de propagación de la onda de presión [m].

Una aproximación simple se haría empleando los siguientes valores:

Tabla 3.5VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE PRESIÓN.[5]

Material	a (m/s)
<u>Tubería de acero blando</u>	<u>900</u>
Tubería de hierro fundido	1250
Tubería PVC	350

$$h_s = \frac{900\text{m/s} * 0,98\text{m/s}}{9,81\text{m/s}^2}$$

$$h_s = 90\text{m}$$

El espesor teórico y nominal de la tubería seleccionada es:

$$e' = \frac{5 * 3 * (150 + 90) * 10^6 * 0,1463 * 1.1}{415000000} + 2$$

$$e' = 3,621\text{mm}$$

Comparamos con el espesor de tubería seleccionada:¹⁰

$$e'_{\text{catalogo}} \geq e'_{\text{teorico}}$$

$$10.97\text{mm} \geq 3,621\text{mm}$$

¹⁰ Anexo 3.2

3.2.3 Cálculo de Tensiones en la tubería de presión [9]

En la tubería de presión apoyada sobre estructuras de concreto tiene gran importancia en relación entre el espesor de la tubería y la distancia entre bloques L_s , decisión que se toma con base de criterios técnico-económicos como se muestra en la siguiente figura:

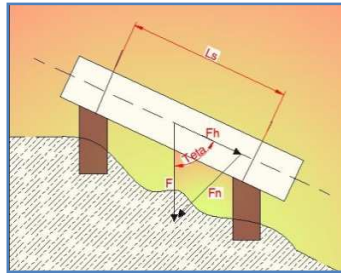


Figura 3.9 Tubería de presión y apoyos

Las principales tensiones que debe soportar el espesor de la tubería son:

3.2.3.1 Tensión tangencial por golpe de ariete [9]

El golpe de ariete provoca que la tubería tienda a aumentar su diámetro, esto se traduce en esfuerzos tangenciales sobre la tubería. Esta tensión se calcula con la ecuación:

$$\delta_{ta} = \frac{P_s \cdot D}{2 \cdot e} \left[\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right] \quad (3.24)$$

Donde:

P_s = Presión actuante por el golpe de ariete [Pa].

$$P_s = (H_B + h_s) \cdot g \cdot \delta_w + P_a \quad (3.25)$$

Donde:

δ_w = Densidad del agua, $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$

P_a = Presión atmosférica a determinada altura, [Pa].

h_s = Sobrepresión por el golpe de ariete, [m].

Reemplazando los datos anteriores en la ecuación (3.25) se obtiene el siguiente resultado:

$$P_s = (150 + 90) \cdot 9.8 \cdot 999.085 + 101300 = 2.4511 \text{ MPa} = 25.01 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

Cálculo del esfuerzo tangencial en la ecuación (3.24):

$$\delta_{ta} = \frac{25.01 * 146.36}{2 * 10.97}$$

$$\delta_{ta} = 166.85 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

3.2.3.2 Tensión longitudinal por variación de temperatura [9]

Las variaciones de temperatura provocan dilataciones en la tubería de presión, que al estar anclada y apoyada rígidamente sobre el suelo, crean esfuerzos longitudinales.

Esta tensión es igual para todas las alternativas y puede ser calculada con la ecuación:

$$\delta_{te} = E * \alpha * (T_{\max} - T_{\min}) \left[\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right] \quad (3.26)$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad del material = $2.11 * 10^6 \left[\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right]$.

α = Coeficiente de dilatación térmica el material. = $1 * 10^{-5} \left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right]$

T_{\max} = Temperatura máxima de la zona [$^\circ\text{C}$].

T_{\min} = Temperatura mínima de la zona [$^\circ\text{C}$].

Reemplazando los datos en la ecuación (3.26) y obtengo el siguiente resultado:

$$\delta_{te} = 2.11 * 10^6 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} * 1 * 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}} * (18^\circ - 5^\circ)$$

$$\delta_{te} = 273 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

3.2.3.3 Tensión longitudinal por la presión hidrostática [9]

En condiciones que la válvula de control está totalmente cerrada el líquido ejerce presión sobre las paredes de la tubería y sobre la válvula intentando al mismo tiempo

aumentar su diámetro y alargar su longitud. La tensión se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\delta_{tl} = \frac{P_s * D^2}{4 * e * (e + D)} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right] \quad (3.27)$$

Donde:

P_s = Presión actuante por el golpe de ariete $\left[\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right]$.

D = Diámetro de la tubería [m].

e = Espesor de la tubería [m].

Reemplazando los datos anteriores en la ecuación (3.27) se obtiene el siguiente resultado:

$$\delta_{tl} = \frac{25.01 * 146.36^2}{4 * 10.97 * (10.97 + 146.36)}$$

$$\delta_{tl} = 77.60 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

3.2.3.4 Tensión longitudinal por flexión entre apoyos [9]

Esta tensión se debe al peso propio de la tubería y al peso del agua, la tubería descansa sobre boques de apoyo. Entre apoyos se comporta como una viga simplemente apoyada y debe soportar los esfuerzos provocados por la flexión. La ecuación de esfuerzos de flexión es:

$$\delta_f = \frac{F * (L_s * 100)^2 * \text{Sen} \theta}{8 * W} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right] \quad (3.28)$$

Donde:

F = Fuerza que produce el agua y la tubería [Kg/cm].

L_s = Longitud entre apoyos. Se considera una longitud promedio de 8m.

θ = Ángulo complementario al ángulo de la pendiente que está en el campo[°].

W = Momento resistente de la sección transversal de la tubería [cm³].

Para determinar la fuerza F se utiliza la siguiente ecuación:

$$F = \left[\frac{\gamma_t * \pi * (D_e^2 - D^2)}{400} \right] + \gamma_w * \pi * \frac{D^2}{400} \quad [\text{Kgf/cm}] \quad (3.29)$$

Donde:

γ_t = Peso específico de la tubería. Se considera 7850 [Kgf/m³] para el acero. [9]

γ_w = Peso específico del agua que es 1000 [Kgf/m³]. [9]

D = Diámetro interior de la tubería [m].

De = Diámetro externo de la tubería [m].

$$F = \left[\frac{7850 * \pi * (0.168^2 - 0.1463^2)}{400} \right] + 1000 * \pi * \frac{0.1463^2}{400}$$

$$F = 0.5948 \text{ Kgf/cm}$$

Para calcular la longitud entre apoyos de la tubería de presión se necesita conocer la longitud máxima admisible que está en función de las propiedades geométricas de la tubería y de las consideraciones de la flecha admisibles considerando una viga simplemente apoyada con una carga distribuida.

3.2.3.4.1 Cálculo de la longitud máxima admisible entre apoyos de la tubería de presión [10] [35]

$$L_{ad} = \sqrt[3]{\frac{16}{75} * \frac{E * I * 100}{F}} \quad [\text{m}] \quad (4.30)$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad del material $\left[\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right]$.

I = Momento de inercia de la tubería [m⁴].

$$I = I_x = I_y = \frac{\pi}{64} (D_e^4 - D_i^4) \quad (4.31)$$

$$I = \frac{\pi (0.168^4 - 0.1463^4)}{64}$$

$$I = 1.66 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

F = Fuerza ejercida por el agua y la tubería por unidad de longitud [Kg/cm]

$$L_{ad} = \sqrt[3]{\frac{16}{75} * \frac{2.11 * 10^6 * 1.66 * 10^{-5} * 100}{0.5948 \text{ Kgf/cm}}}$$

$$L_{ad} = 10.79m$$

3.2.3.4.2 Determinación de la longitud entre apoyos [10]

Para determinar la longitud entre apoyos de la tubería se considera la siguiente ecuación:

$$L_s = L_{ad} - \Delta L \quad [m] \quad (3.32)$$

Donde:

ΔL = Longitud de seguridad. Se considerará aproximadamente 2m para el acero.

[10]

$$L_s = 10.79 - 2 = 8.79m$$

Se tomará una distancia de 8 metros entre apoyos que se recomienda en la referencia [5].

Para calcular el momento resistente se utiliza la siguiente ecuación: [11]

$$W = \frac{\pi}{32} * \frac{D_e^4 - D^4}{D_e} * 100^3 \quad [cm^3] \quad (3.33)$$

$$W = \frac{\pi}{32} * \frac{0.168^4 - 0.1463^4}{0.168} * 100^3$$

$$W = 197.79cm^3$$

Para determinar el ángulo complementario se debe hacer la siguiente diferencia:

$$\theta = 90 - \theta_1 \quad (3.34)$$

En donde los tramos son los siguientes mediante el siguiente esquema:

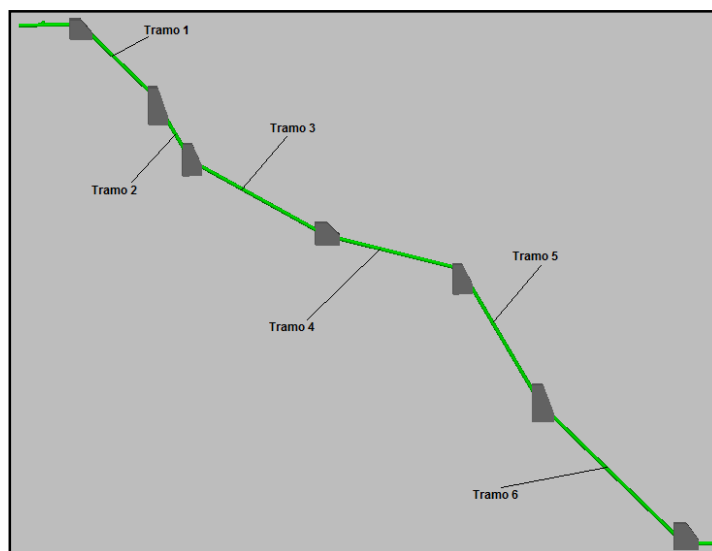


Figura 3.10 Esquema donde se identifica los Tramos en la Tubería de Presión.

Una vez encontrados todos estos parámetros se determina la tensión longitudinal por flexión de la ecuación (3.28) en la siguiente Tabla 3.6:

Tabla 3.6 TENSIONES LONGITUDINALES POR FLEXIÓN ENTRE APOYOS EN LOS TRAMOS

Nº Tramo	Ls (m)	θ_1 [°]	θ	δ_f [$\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$]
1	8	45	45	170.14
2	8.66	60	30	140.97
3	8.33	30	60	225.92
4	7.5	15	75	204.079
5	8.66	60	30	139.032
6	8.125	45	45	175.50

3.2.3.5 Tensión longitudinal por variación de pendiente [9]

Esta tensión se debe por la inclinación por variación de la pendiente del terreno.

$$\delta_j = \frac{4 * F * L_s * \cos \theta}{\pi * (D_e^2 - D^2) * 100} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right] \quad (3.35)$$

Donde:

F = Fuerza que produce el agua y la tubería [Kg/cm].

Ls = Longitud entre apoyos. Se considera una longitud máxima de 8m.

θ = Ángulo complementario al ángulo de la pendiente que está en el campo[°].

D = Diámetro interior de la tubería [m].

De = Diámetro externo de la tubería [m].

Cálculo de la tensión longitudinal por variación de la ecuación (3.35) en la siguiente Tabla 3.7:

Tabla 3.7 TENSIONES LONGITUDINALES POR VARIACIÓN ENTRE APOYOS EN LOS TRAMOS

Nº Tramo	Ls (m)	θ_1 [°]	θ	δ_j [$\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$]
1	8	45	45	6.28
2	8.66	60	30	8.32
3	8.33	30	60	4.62
4	7.5	15	75	2.14
5	8.66	60	30	8.27
6	8.125	45	45	6.38

3.2.3.6 Cálculo del esfuerzo equivalente: [9]

$$\delta_{eq} = \sqrt{\delta_{ta}^2 + (\delta_{te} + \delta_{tl} + \delta_f + \delta_j)^2} \quad (3.36)$$

Donde:

δ_{ta} = Tensión tangencial por golpe de ariete, [Kg/cm²].

δ_{te} = Tensión longitudinal por variación de temperatura, [Kg/cm²].

δ_{tl} = Tensión longitudinal por la presión hidrostática, [Kg/cm²].

δ_f = Tensión longitudinal por flexión entre apoyos, [Kg/cm²].

δ_j = Tensión longitudinal por variación de pendiente, [Kg/cm²].

Cálculo del esfuerzo equivalente por la ecuación (3.36) y se resume en la siguiente Tabla 3.8.:

Tabla 3.8 TENSIONES LONGITUDINALES POR VARIACIÓN ENTRE APOYOS EN LOS TRAMOS

Nº Tramo	$\delta_f \left[\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right]$	$\delta_j \left[\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right]$	$\delta_{eq} \left[\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right]$
1	170.14	6.28	552.80
2	140.97	8.32	149.30
3	225.92	4.62	230.54
4	204.079	2.14	206.22
5	139.032	8.27	147.30
6	175.50	6.38	181.88

Para determinar si el diseño en la tubería está bien hecho debe cumplirse el siguiente criterio técnico. [10]

$$\text{Si } \delta_{ad} > \delta_{eq} \quad \text{La condición está bien.}$$

(3.37)

Donde:

δ_{eq} = Esfuerzo equivalente, $[\text{Kg}/\text{cm}^2]$.

δ_{ad} = Esfuerzo admisible del material, $[\text{Kg}/\text{cm}^2]$.

Para el acero A53-B, $\delta_{ad} = 1771.672 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ según la norma AISI B31.4. Pressure Vessel Handbook 12 Edition. pág. 210. [12] por lo tanto en todos los tramos está bien seleccionado la tubería.

La selección de un espesor mayor e, permite aumentar la longitud de la tubería entre bloques Ls; que permite reducir el costo y el número de apoyos, siendo al final la selección del espesor una variable técnico-económica entre el costo de la tubería y el número de apoyos, ajustados a las condiciones constructivas y propias del lugar.

3.2.3.7 Cálculo del coeficiente de seguridad para la tubería de presión. [9]

$$\eta_{LS} = \frac{\delta_{ad}}{\delta_{eq}} \quad (3.38)$$

Tabla 3.9 COEFICIENTES DE SEGURIDAD POR TRAMOS

Nº Tramo	$\delta_{eq} [\frac{Kgf}{cm^2}]$	η_{LS}
1	552.80	3.2
2	149.30	11.8
3	230.54	7.6
4	206.22	8.5
5	147.30	12.0
6	181.88	9.7

3.2.3.8 Análisis final de la tubería de presión

La tubería de acero A53-B de Ø 6 plg tiene una buena resistencia a los esfuerzos hidráulicos y estructurales, esto lo indica los coeficientes de seguridad de la TABLA 3.9. Otra ventaja es que el espesor nominal es aproximadamente el triple del calculado.

Como las ventajas son mayores es por esta razón la posibilidad de usar la tubería de Ø 6 plg en el proyecto.

3.2.4 Chimenea de equilibrio o Almenara [9]

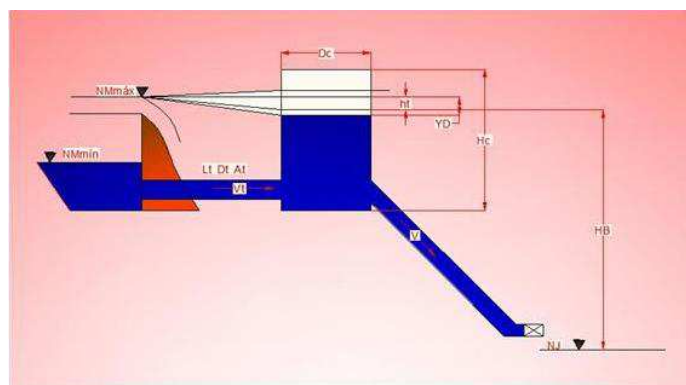


Figura 3.11 Esquema de una Chimenea de equilibrio o almenara.[9]

Para determinar si el sistema requiere chimenea de equilibrio, la referencia [9] página 207 indica que se debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{L}{H_B} \leq 5 \quad (3.39)$$

Donde:

L = Longitud de la tubería de presión, 270 m.

H_B = Altura bruta, 150 m, entonces:

$$\frac{270 \text{ m}}{150 \text{ m}} = 1.8 \leq 5$$

Esto indica que es necesario el uso de almenara. Para esto se deben conocer algunos datos iniciales como:

- La longitud de tubería desde el tanque de presión hasta la almenara $L_g = 4 \text{ m}$.
- El diámetro de la tubería a la salida del tanque de presión, que en nuestro caso es $D_g = 0.1463 \text{ m}$.

Entonces se realizan los siguientes cálculos según Ortíz Flores el parámetro de la sección transversal de la conducción es:

$$A_g = \frac{\pi D_g^2}{4} \quad [\text{m}^2] \quad (3.40)$$

$$A_g = \frac{\pi 0.1463^2}{4} = 0.0168 \text{ m}^2$$

a) Cálculo de la velocidad en la conducción.

$$V_g = \frac{Q}{A_g} \quad [\text{m/s}] \quad (3.41)$$

$$V_g = \frac{0.0165}{0.0168} = 0.98 \text{ m/s}$$

b) Cálculo de las pérdidas por fricción en este tramo de la tubería según SCOBEEY:

$$h_a = 0.00131136 * \frac{Q_d^{1.9}}{D_g^{1.1}} * L_g [\text{m}] \quad (3.42)$$

$$h_a = 0.00131136 * \frac{0.0165^{1.9}}{0.1463^{1.1}} * 4$$

$$h_a = 0.0000178 \text{ m}$$

c) Cálculo de las pérdidas totales de presión h_t .

$$\begin{aligned}
 h_t &= 1.04 * h_a & [m] & (3.43) \\
 h_t &= 1.04 * 0.0000178 \\
 h_t &= 0.0000185 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3.2.4.1 Cálculo de la sección transversal de la almenara A_c [9]

$$A_c = \frac{V_g^2 * L_g * A_t}{2g * (H_B - h_t) h_t} \quad [m^2] \quad (3.44)$$

$$A_c = \frac{0.98^2 * 4 * 0.0168 m^2}{2 * 9.8 * (150 - 0.0000185) 0.0000185}$$

$$A_c = 1.18 \text{ m}^2$$

Cálculo de la sobrepresión teórica del golpe de ariete y_e .

$$y_e = y_d = Vg * \sqrt{\frac{A_t * L_g}{g * A_c}} \quad [m] \quad (3.45)$$

$$y_e = y_d = 0.98 \text{ m/s} * \sqrt{\frac{0.0168 m^2 * 4 \text{ m}}{9.8 * 1.18 \text{ m}^2}}$$

$$y_e = y_d = 0.0747 \text{ m}$$

3.2.4.2 Cálculo de la altura de la almenara H_c [9]

$$\begin{aligned}
 H_c &= 2 * (y_e + 1) + D_g & [m] & (3.46) \\
 H_c &= 2 * (0.0747 + 1) + 0.1463 \\
 H_c &= 2.29 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3.2.4.3 Cálculo del diámetro de la almenara D_c . [9]

$$D_c = \sqrt{\frac{4 * A_c}{\pi}} \quad [m] \quad (3.47)$$

$$D_c = \sqrt{\frac{4 * 1.18}{\pi}}$$

$$D_c = 1.225 \text{ m}$$

Determinación de la constante K para el factor de pérdida de presión.

$$K = \frac{h_t}{y_e} \quad [\text{m}] \quad (3.48)$$

$$K = \frac{0.0000185}{0.0747}$$

$$K = 0.000247$$

Determinación del factor de pérdida de presión por efecto del golpe de ariete Z_e :

[10]

$$Z_e = 1 - \left(\frac{2}{3}\right) K + \left(\frac{1}{9}\right) K^2 \quad (3.49)$$

$$Z_e = 1 - \left(\frac{2}{3}\right) 0.000247 + \left(\frac{1}{9}\right) 0.000247^2$$

$$Z_e = 0.99983$$

Para la sobrepresión real del golpe de ariete Y_E se calcula de la siguiente manera:[10]

$$Y_E = y_e * Z_e \quad [\text{m}] \quad (3.50)$$

$$Y_E = 0.0747\text{m} * 0.99983$$

$$Y_E = 0.07468\text{m}$$

Los resultados de los cálculos se muestran en la TABLA 3.10 a continuación:

Tabla 3.10 DIMENSIONES DE LA CHIMENEA DE EQUILIBRIO

A_t: [m²]	0.0168
V_g: [m/s]	0.98
h_a: [m]	0.0000178
h_t: [m]	0.0000185
A_c: [m²]	1.18
Y_e: [m]	0.0747
Y_d: [m]	0.0747
H_c: [m]	2.29
D_c: [m]	1.225
K: [m]	0.000247

Z_e:	0.99983
Y_E: [m]	0.07468

A continuación se recalcula los siguientes términos:

Cálculo de las pérdidas por fricción h'_a . [10]

$$h'_a = 0.00172116 * \frac{Q_d^{1.9}}{D_g^{1.1}} * L_g \text{ [m]} \quad (3.51)$$

$$h'_a = 0.00172116 * \frac{0.0165^{1.9}}{0.1463^{1.1}} * 4$$

$$h'_a = 0.0000234 \text{ m}$$

Cálculo de las pérdidas de presión totales en el sistema de conducción, debido a la fricción h'_t . [10]

$$h'_t = 1.04 * h'_a \quad \text{[m]} \quad (3.52)$$

$$h'_t = 1.04 * 0.0000234 \text{ m}$$

$$h'_t = 0.00002434 \text{ m}$$

Determinación de una constante K' para el cálculo del factor de pérdida. [10]

$$K' = \frac{h'_t}{y_d} \quad \text{[m]} \quad (3.53)$$

$$K' = \frac{0.00002434 \text{ m}}{0.0747 \text{ m}}$$

$$K' = 0.0003258$$

Cálculo del factor de pérdida de presión por efecto del golpe de ariete Z_d' . [10]

$$Z_d = 1 - 0.593 * (K')^3 + 1.556 * (K')^2 - 1.683 * K' \quad (3.54)$$

$$Z_d = 1 - 0.593 * (0.0003258)^3 + 1.556 * (0.0003258)^2 - 1.683 * 0.0003258$$

$$Z_d = 0.99945 \text{ m}$$

$$Z'_d = 0.131 * (K')^2 - 0.353 * K' + 0.5 \quad (3.55)$$

$$Z'_d = 0.131 * (0.0003258)^2 - 0.353 * 0.0003258 + 0.5.$$

$$Z'_d = 0.49985$$

Aquí se formula la siguiente condición para el cálculo de Y_D , escogiendo cuál de las pérdidas de presión es mayor, es decir: [9]

$$\text{Si } Z_d > Z'_d \quad (3.56)$$

Entonces la ecuación es:

$$Y_D = y_d * Z_d \quad [\text{m}] \quad (3.57)$$

$$Y_D = 0.0747 * 0.99945$$

$$Y_D = 0.0746 \text{ m}$$

3.2.4.4 Cálculo de la altura mínima que debe tener la almenara H_{cmin} .

$$H_{\text{cmin}} = Y_E + Y_D + 2 + D_g \quad [\text{m}] \quad (3.58)$$

$$H_{\text{cmin}} = 0.07468 \text{ m} + 0.0746589 \text{ m} + 2 \text{ m} + 0.1463 \text{ m}$$

$$H_{\text{cmin}} = 2.29564 \text{ m}$$

Los resultados de los cálculos se muestran en la TABLA 3.11 con los siguientes valores:

Tabla 3.11 ALTURA MÍNIMA DE LA CHIMENEA DE EQUILIBRIO

h_a ': [m]	0.0000234
h_t ': [m]	0.00002434
K ': [m]	0.0003258
Z_d : [m]	0.99945
Z_d ': [m]	0.049985
Y_D : [m]	0.0746584
H_{cmin} : [m]	2.29564

3.2.5 Apoyos

Los apoyos deben construirse de tal manera que permitan el movimiento longitudinal de la tubería al dilatarse o contraerse por acción de los cambios de temperatura del ambiente, sin exceder el límite de resistencia del suelo. A lo largo del lugar por donde

pasa la tubería se recomienda hacer canales de drenaje para evitar la erosión de los cimientos de los soportes o gradas para facilitar las tareas de mantenimiento.

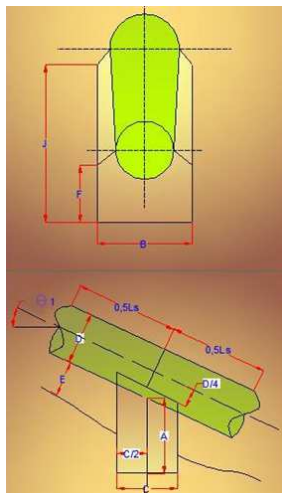


Figura 3.12 Vistas de un apoyo. [9]

Para que la tubería no se flexione excesivamente y evitar el riesgo de fracturas en la misma hay que calcular el máximo espaciamiento entre los soportes. Este cálculo se lo realizó anteriormente dando como resultado los datos mostrados en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12 ÁNGULOS Y LONGITUDES ENTRE CAMBIOS DE PENDIENTE

Nº Tramo	θ [°]	L_t [m]
1	45	32
2	60	26
3	30	50
4	15	45
5	60	52
6	45	65

3.2.5.1 Dimensionamiento de los apoyos. [9]

Para dimensionar un apoyo se recomienda tener en cuenta las siguientes características de acuerdo a las cotas indicadas en la *Figura 3.13*.

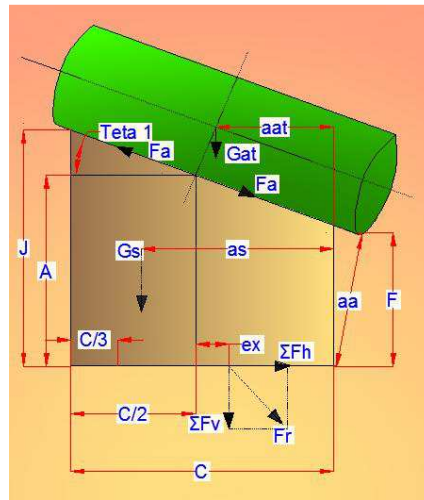


Figura 3.13 Dimensiones generales de un apoyo. [9]

Altura mínima para facilitar el escurrimiento de aguas lluvias. [9]

$$E_{\min} = 0.25 * D \quad (3.59)$$

Ancho del bloque C:

$$C = 1,5 * D \quad (3.60)$$

Altura del bloque A:

$$A = 1,2 * D \quad (3.61)$$

Cálculo de la distancia J:

$$J = A + 0.5 * C * \operatorname{tg} \theta_1 \quad (3.62)$$

Cálculo de la distancia F:

$$F = A - 0.5 * C * \operatorname{tg} \theta_1 \quad (3.63)$$

Donde:

A = Altura del bloque, [m].

C = Ancho del bloque, [m].

θ_1 = Ángulo de la tubería aguas arriba. [°].

D = Diámetro de la tubería, 0.1463 [m].

Las dimensiones generales de los apoyos de los diferentes tramos de la tubería de presión se muestran en la siguiente Tabla 3.13:

Tabla 3.13 DIMENSIONES GENERALES DE LOS APOYOS

Tramo	θ_1 [°]	Ls [m]	C [m]	B [m]	E _{min} [m]	A [m]	F [m]	J [m]
-------	----------------	--------	-------	-------	----------------------	-------	-------	-------

1	45	8	0,5	0,7	0,037	0,7	0,45	0,95
2	60	8,66	0,8	0,9	0,037	0,9	0,208	1,592
3	30	8,33	1,1	1	0,037	0,8	0,482	1,118
4	15	7,5	0,9	0,9	0,037	0,8	0,679	0,921
5	60	8,66	0,6	0,7	0,037	0,9	0,381	1,419
6	45	8,125	0,6	0,7	0,037	0,7	0,4	1

3.2.5.2 Fuerzas sobre los apoyos. [9]

Fuerza por el peso de la tubería y el peso del agua, G_{at} . [9]

$$G_{at} = G_a + G_t \quad (3.64)$$

Donde:

G_a = Peso del agua, [Kgf].

G_t = Peso de la tubería, [Kgf].

$$G_a = \gamma_a * \frac{\pi * D^2}{4} * L_s \quad (3.65)$$

$$G_t = \gamma_t * \pi * e * (D + e) * L_s \quad (3.66)$$

Donde:

γ_a = Peso específico del agua, 9791.03 [Kgf/m³].

γ_t = Peso específico de la tubería, 76930 [Kgf/m³]. Ver Anexo 3.12

L_s = Longitud entre apoyos, [m].

e = Espesor de la tubería, 0.01097 [m].

Fuerza por el peso de apoyo, G_s . [9]

$$G_s = \gamma_s * V_s \quad (3.67)$$

Donde:

γ_s = Peso específico del hormigón, 2400 [Kgf/m³].

V_s = Volumen del apoyo, [m³].

Cálculo del Volumen del apoyo V_s . [9]

$$V_s = \frac{C*B}{3} (F + J + C\sqrt{Fx}) + \frac{C*(D+2e)}{4*\cos\theta_1} \left(B - \frac{\pi(D+2e)}{180} * \arctg\left(\frac{B}{D}\right) \right) \quad (3.68)$$

Donde:

D = Diámetro de la tubería, 0.1463 [m].

A = Altura del apoyo, [m].

B = Longitud del apoyo, [m].

C = Ancho del apoyo, [m].

θ_1 = Ángulo de la tubería aguas arriba. [°].

e = Espesor de la tubería, 0.01097 [m].

Fuerza de fricción entre tuberías y apoyos F'_a . [9]

$$F'_a = \mu_K * (G_a + G_t) * \cos\theta_1 \quad (3.69)$$

Donde:

μ_K = Coeficiente de rozamiento mostrado en la TABLA 3.14.

G_a = Peso del agua, [Kgf].

G_t = Peso de la tubería, [Kgf].

θ_1 = Ángulo de la tubería aguas arriba. [°].

Tabla 3.14 COEFICIENTES DE FRICCIÓN PARA DIVERSOS MATERIALES[9]

Coeficiente de Rozamiento	μ_K
Acero sobre hormigón con capa intermedia de cartón asfaltado	0.40
Acero sobre hormigón o mampostería de piedra	0.40 – 0.50
Acero sobre acero	0.30 – 0.50
Acero sobre acero con lubricante de grafito	0.20
Acero sobre acero con lubricante sólido	0.12 – 0.10
Apoyos con cojinetes de rodillos o soportes basculantes	0.05 – 0.10

El apoyo ofrece una resistencia al deslizamiento de la tubería y es mayor que la fuerza de fricción, la cual se toma igual a: [9]

$$F_a = 1.1 * F'_a \quad (3.70)$$

Cálculo del empuje horizontal ΣF_H . [9]

$$\Sigma F_H = F_a * \cos\theta_1 \quad (3.71)$$

Cálculo de la sumatoria de esfuerzos verticales, ΣF_V : [9]

$$\Sigma F_V = G_s + G_{at} + F_a * \sin\theta_1 \quad (3.72)$$

Fuerza de fricción entre el apoyo y el suelo F_{ab} . [9]

$$F_{ab} = 0.35 * (G_s + G_{at} + F_a * \sin\theta_1) \quad (3.73)$$

El Coeficiente de fricción entre el apoyo y el terreno es 0.35. [9]

El resumen de fuerzas actuantes en los apoyos se muestra en la siguiente Tabla 3.15:

Tabla 3.15 FUERZA EN LOS APOYOS

Tramo	Ga [Kgf]	Gt [Kgf]	Gat [Kgf]	Vs [m³]	Gs [Kgf]	Fa' [Kgf]	Fa [Kgf]	ΣF_H [Kgf]	ΣF_V [Kgf]	Fab [Kgf]
1	1316,73	3335,7	4652,5	0,19	452,1	1315,91	1447,5	1023,5	6128,1	2144,8
2	1425,36	3610,9	5036,3	0,24	586,5	1744,57	1919	1661,9	7284,6	2549,6
3	1371,05	3473,3	4844,4	0,89	2143	1871,67	2058,8	1988,6	8016,8	2805,9
4	1481,33	3752,7	5234	1,04	2488	2022,21	2224,4	2148,6	8297,6	2904,2
5	1425,36	3610,9	5036,3	0,25	607,1	1007,26	1108	553,99	6602,9	2311
6	1337,31	3387,8	4725,1	0,19	452,1	1336,47	1470,1	1039,5	6216,8	2175,9

3.2.5.3 Estabilidad del apoyo [9]

Condición para que el apoyo este bien diseñado.

$$\frac{F_{ab}}{\Sigma F_H} \geq 1.5 \quad (3.74)$$

Los resultados del análisis de la condición 1 de estabilidad de los apoyos se muestran en la siguiente Tabla 3.16:

Tabla 3.16 CONDICIÓN 1 DE ESTABILIDAD

Tramo	ΣF_h [Kgf]	Fab [Kgf]	Fab/ $\Sigma F_h > 1.5$	Condición 1
1	1023,5	2144,8	2,1	Ok
2	1661,9	2549,6	1,35	No cumple
3	1988,6	2805,9	1,41	No cumple
4	2148,6	2904,2	1,55	Ok
5	553,99	2311	4,17	Ok
6	1039,5	2175,9	2,09	Ok

Los tramos 2 y 3 no cumplen con la condición 1 de estabilidad es por ello que se dimensiona nuevamente los apoyos de estos tramos, obteniendo lo siguiente:

Tabla 3.17 REDIMENSIONAMIENTO DE LOS APOYOS 2 Y 3

Tramo	$\theta 1$ [°]	Ls [m]	C [m]	B [m]	Emin [m]	A [m]	F [m]	J [m]
2	60	8,66	0,6	0,7	0,037	0,9	0,381	1,419
3	30	8,33	0,8	0,8	0,037	0,8	0,569	1,031

Dadas las nuevas dimensiones se recalcula las fuerzas existentes en estos apoyos:

Tabla 3.18 FUERZAS EN LOS APOYOS 2 Y 3

Tramo	Ga [Kgf]	Gt [Kgf]	Gat [Kgf]	Vs [m³]	Gs [Kgf]	Fa' [Kgf]	Fa [Kgf]	ΣF_H [Kgf]	ΣF_V [Kgf]	Fab [Kgf]
2	1425,36	3610,9	5036,3	0,29	697,5	1744,57	1919	1661,9	7395,7	2588,5
3	1371,05	3473,3	4844,4	1,13	2722	1871,67	2058,8	1988,6	8595,6	3008,5

Nuevamente realizamos la condición de estabilidad para los nuevos apoyos de estos tramos:

Tabla 3.19 CONDICIÓN 1 DE ESTABILIDAD DE LOS APOYOS 2 Y 3

Tramo	ΣF_h [Kgf]	Fab [Kgf]	Fab/ $\Sigma F_h > 1.5$	Condición 1
2	1661,9	2588,5	1,56	Ok
3	1988,6	3008,5	1,51	Ok

Buscamos parámetros para luego someter los apoyos a la condición 2 de estabilidad para ello realizamos el cálculo de la distancia al centro de gravedad del apoyo a_s . [9]

$$a_s = \frac{C}{14.4 * D} (7.2 * D + C * \tan \theta_1) \quad (3.75)$$

Distancia a_a desde la parte derecha en el gráfico del apoyo y la fuerza ejercida por la fricción de la tubería y el apoyo. [9]

$$a_a = (A - 0.5 * C * \tan \theta_1) * \cos \theta_1 \quad (3.76)$$

Distancia a_{at} desde la parte derecha en el gráfico del apoyo y la fuerza ejercida por el peso de la tubería y el agua. [9]

$$a_{at} = 0.5 * (C - D * \sin \theta_1) \quad (3.77)$$

Distancia e_x a la cual debe pasar la suma de los esfuerzos verticales para que el apoyo no se voltee. [9]

$$e_x = \frac{\sum F_v * 0.5 * C - G_s * a_s - G_{at} * a_{at} + F_a * a_a}{\sum F_v} \quad (3.78)$$

Una vez hallado e_x ; se debe cumplir con la siguiente condición: [9]

$$(e_x) \leq C/6 \quad (3.79)$$

Los resultados del análisis de la condición 2 de estabilidad de los apoyos presentado en la Tabla 3.20.:

Tabla 3.20CONDICIÓN 2 DE ESTABILIDAD.

Tramo	a_{at} [m]	a_a [m]	a_s [m]	$C/6$ [m]	e_x	$e_x \leq C/6$
1	0,2	0,318	0,37	0,08	0,08	ok
2	0,24	0,33	0,6	0,1	0,082	Ok

3	0,66	0,382	1,24	0,23	0,149	ok
4	0,58	0,617	0,78	0,2	0,138	ok
5	0,19	0,234	0,46	0,08	0,079	Ok
6	0,2	0,318	0,37	0,08	0,08	ok

3.2.5.4 Condición de resistencia del terreno [9]

Para que el apoyo no se entierre garantizar que los esfuerzos transmitidos al terreno no superen la capacidad portante del mismo. Por lo tanto deben cumplirse las siguientes condiciones:

$$\Psi_c \leq \Psi_{ad} \quad (3.80)$$

$$\Psi_t > 0 \Rightarrow \text{OK} \quad (3.81)$$

Donde:

Ψ_c = Tensión a la compresión del apoyo, [Kg/m²].

Ψ_t = Tensión a la tracción del apoyo, [Kg/m²].

3.2.5.5 Cálculo de la tensión a compresión del apoyo Ψ_c [10]

Es la tensión transmitida por el apoyo al terreno:

$$\Psi_c = \frac{\sum F_v}{B \cdot C} * \left(1 + \frac{6 * |e_x|}{C}\right) \quad (3.82)$$

Donde:

$\sum F_v$ = Sumatoria de fuerzas verticales, [Kg].

B = Ancho del apoyo, [m].

C = Longitud del apoyo. [m]

e_x = Distancia a la cual debe pasar la suma de los esfuerzos verticales para que el apoyo no se voltee.[m]

El terreno donde se asentará el apoyo es de roca calcárea y arena gruesa; algunos de los valores admisibles de la capacidad portante del terreno Ψ_{ad} se indican en la Tabla 3.21.

Tabla 3.21 ESFUERZOS ADMISIBLES SEGÚN EL TIPO DE SUELO.[9]

Suelo de Apoyo	$\Psi_{ad}: \left[\frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}\right]$
Roca granítica	4.2×10^3

Roca calcárea o arenítica	2.8×10^5
Pedregal	2.8×10^4
Arcilla dura	1.5×10^4

3.2.5.6 Cálculo de la tensión a tracción Ψ_t : [9]

$$\Psi_t = \frac{\sum F_v}{B \cdot C} \left(1 - \frac{6 \cdot |e_x|}{C} \right) \quad (3.83)$$

Donde:

$\sum F_v$ = Sumatoria de fuerzas verticales, [Kg].

B = Ancho del apoyo, [m].

C = Longitud del apoyo. [m]

e_x = Distancia a la cual debe pasar la suma de los esfuerzos verticales para que el apoyo no se volteee.[m]

Los esfuerzos y la condición de resistencia de los apoyos se muestran en la siguiente Tabla 3.22:

Tabla 3.22 ESFUERZOS DE LOS APOYOS Y CONDICIÓN DE RESISTENCIA.

Tramo	Ψ_c [Kg/m ²]	$\Psi_c < \Psi_{ad}$	Ψ_t [Kg/m ²]	$\Psi_t > 0$
1	34317,2	Ok	700,4	Ok
2	41908,9	Ok	6691	Ok
3	8383,66	Ok	1849	Ok
4	9738,21	Ok	1786	Ok
5	36976,3	Ok	754,6	Ok
6	34813,9	Ok	710,5	Ok

3.2.6 Anclajes [13]

El anclaje es una masa de hormigón armado que rodea a la tubería, e impide el movimiento de la misma. En virtud de su peso y el área que involucra, es diseñado para

resistir cualquier carga que la tubería pueda ejercer en él y debe ser bien anclado a la tierra.
[9]

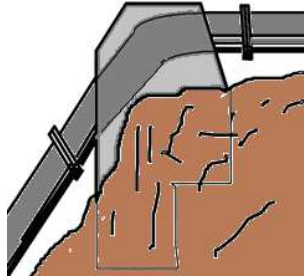


Figura 3.14 Esquema general de un Anclaje. [14]

Para el cálculo de las fuerzas se toma la letra **m** para aguas arriba y **j** para aguas abajo y los ángulos θ_1 y θ_2 se indican en el siguiente diagrama:

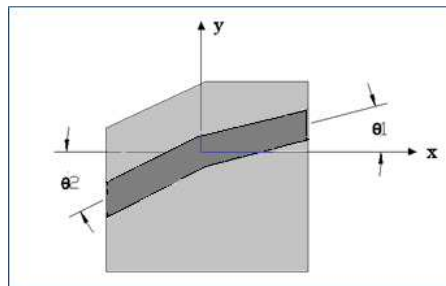


Figura 3.15 Ángulos de la tubería en el plano lateral del anclaje [9]

3.2.6.1 Dimensionamiento del anclaje [9]

Para el dimensionamiento del anclaje se sugieren las siguientes medidas y posteriormente el análisis de estabilidad comprobará si son suficientes para soportar las cargas sobre él aplicadas. (Todas las dimensiones en metros).

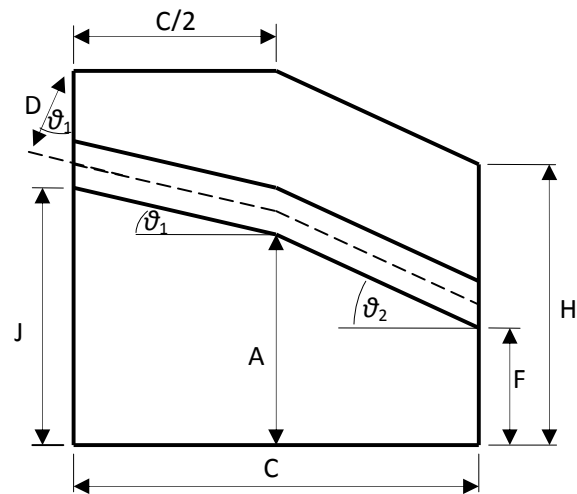


Figura 3.16 Vista lateral y dimensiones de un anclaje. [9]

Longitud entre la base del anclaje y el cambio de dirección de la tubería de presión:

$$A = 4 * D \quad (3.84)$$

Altura del anclaje B:

$$B = 3 * D \quad (3.85)$$

Ancho del anclaje C:

$$C = 3 * D \quad (3.86)$$

Donde:

D = Diámetro de la tubería, 0.1463 [m].

Distancia inferior entre la base del anclaje y la tubería aguas abajo F parte del anclaje que va enterrado:

$$F = A - 0.5 * C * \tan(\theta_2) \quad (3.87)$$

Donde:

A = Longitud entre la base del anclaje y el cambio de dirección de la tubería de presión, [m].

C = Ancho del anclaje, [m].

θ_2 = Ángulo de inclinación de la tubería respecto a la horizontal XY aguas abajo, [°].

Distancia superior entre la base del anclaje y la tubería aguas arriba J:[9]

$$J = A + 0.5 * C * \tan(\theta_1) \quad (3.88)$$

Donde:

A = Longitud entre la base del anclaje y el cambio de dirección de la tubería de presión, [m].

C = Ancho del anclaje, [m].

θ_1 = Angulo de inclinación de la tubería respecto a la horizontal XY aguas arriba, [°].

Altura del anclaje aguas abajo H: [9]

$$H = 1.5 * D + F \quad (3.89)$$

Donde:

F = Distancia inferior entre la base del anclaje y la tubería aguas abajo, [m].

D = Diámetro de la tubería, [m].

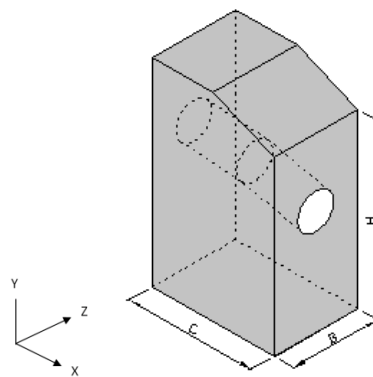


Figura 3.17 Esquema isométrico de un anclaje.[15]

Cálculo del volumen de concreto del anclaje:[9]

$$V_c = V_{tot} - V_t \quad (3.90)$$

Donde:

V_{tot} = Volumen total del anclaje, [m³].

V_t = Volumen de la tubería dentro del anclaje, [m³].

El volumen total del anclaje es: [9]

$$V_{tot} = B * \left(\frac{C}{4} * 3 * (J + 1.5 * D * \cos\theta_1) + H \right) \quad (3.91)$$

Donde:

B = Altura del anclaje, [m].

C = Ancho del anclaje, [m].

J = Distancia superior entre la base del anclaje y la tubería aguas arriba, [m].

D = Diámetro de la tubería, [m].

θ_1 = Ángulo de inclinación de la tubería respecto a la horizontal XY aguas arriba, [°].

H = Altura del anclaje aguas abajo, [m].

El volumen de la tubería se calcula mediante la siguiente ecuación: [9]

$$V_t = \frac{\pi}{8} * C * (D + 2e) * \left(\frac{1}{\cos \theta_1} + \frac{1}{\cos \theta_2} \right) \quad (3.92)$$

Donde:

C = Ancho del anclaje, [m].

D = Diámetro de la tubería, [m].

e = Espesor de la tubería, [m].

θ_1 = Ángulo de inclinación de la tubería respecto a la horizontal XY aguas arriba, [°].

θ_2 = Ángulo de inclinación de la tubería respecto a la horizontal XY aguas abajo, [°].

Las dimensiones generales de los anclajes de la tubería de presión se indican en la TABLA 3.23:

Tabla 3.23 DIMENSIONES GENERALES DE LOS ANCLAJES

Anclaje	A: [m]	B: [m]	C: [m]	F: [m]	J: [m]	H: [m]	Vc:[m ³]
1	0,9	0,9	0,9	0,45	0,9	0,669	0,971
2	1,2	1,1	0,8	0,507	1,6	0,727	1,565
3	0,7	0,8	0,8	0,469	1,393	0,689	0,91
4	0,6	0,7	1	0,466	0,887	0,686	0,731
5	1,1	0,9	0,8	0,407	1,207	0,627	0,982
6	0,9	0,8	0,9	0,45	1,679	0,669	1,06
7	0,6	1,1	2	0,6	1,6	0,819	3,104

3.2.6.2 Fuerzas sobre los anclajes[13]

Todas las fuerzas están expresadas en Kgf.

a) Cálculo de la componente del peso de la tubería y el agua perpendicular a ella, F_1 [13]

$$F_1 = (W_t + W_a) * L_1 * \cos \theta \quad (3.93)$$

Donde:

W_t = Peso del Tubo por unidad de longitud, [Kgf/m].

W_a = Peso del Agua por unidad de longitud, [Kgf/m].

L_1 = Longitud media entre el anclaje y el apoyo próximo (m).

θ = Ángulo de inclinación de la tubería respecto a la horizontal.

$$W_t = \gamma_t * \pi * e * (D + e) \quad (3.94)$$

$$W_a = \gamma_a * \pi * \frac{D^2}{4} \quad (3.95)$$

Donde:

γ_t = Peso específico de la tubería, 76930 [Kgf/m³].

γ_a = Peso específico del agua, 1000 [Kgf/m³].

e = Espesor de la tubería, [m].

D = Diámetro de la tubería, [m].

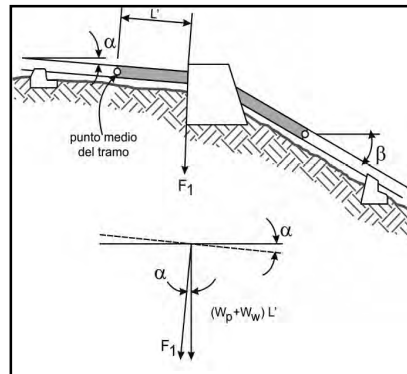


Figura 3.18Componentes de las fuerzas de peso. [9]

b) Cálculo de la fuerza de fricción entre la tubería sobre los soportes, F_2 [13]

Si la tubería se mueve longitudinalmente sobre los apoyos, se crea una fuerza de fricción en cada uno de ellos. Esta fuerza existe solo donde uno o varios apoyos se encuentran localizados entre el anclaje y una junta de expansión.

$$F_2 = \mu * (W_t + W_a) * L_2 * \cos \theta \quad (3.96)$$

Donde:

L_2 = Longitud de la tubería sujeta a movimiento, [m]. Corresponde a la distancia entre puntos medios de los tramos entre apoyo y anclaje respectivo.

W_t = Peso del Tubo por unidad de longitud, [Kgf/m].

W_a = Peso del Agua por unidad de longitud, [Kgf/m].

μ = Coeficiente de fricción entre la tubería y el apoyo. [$\mu = 0.5$] (Ver Tabla 24)

θ = Ángulo de inclinación de la tubería respecto a la horizontal.

Tabla 3.24 COEFICIENTE DE FRICCIÓN PARA DIFERENTES MATERIALE [13]

Materiales	μ
<u>Acero en hormigón</u>	<u>0.60</u>
Acero en acero (placas oxidadas)	0.50
Acero en acero (placas engrasadas)	0.25
Soportes oscilantes	0.15

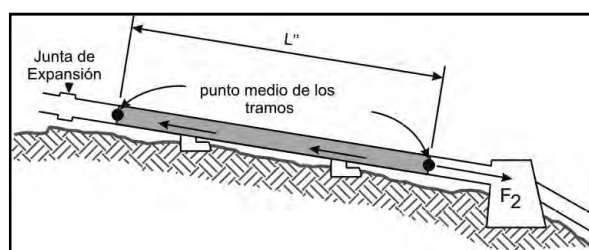


Figura 3.19 Fuerzas Longitudinales [13]

c) Cálculo de la fuerza de presión, F_3 [13]

La presión hidrostática del agua en una curva crea una fuerza F_3 que actúa hacia fuera (o hacia dentro si la curva es cóncava ascendente). Esta es la fuerza principal que debe considerarse en el diseño de anclajes o bloques de empuje para aprovechamientos de medios a grandes saltos, pero puede ser minimizada evitando curvas significativas a lo

largo de la alineación de la tubería, por ejemplo, usando curvas graduales a lo largo de una tubería de plástico.

$$F_3 = 1.6 * 10^3 * H * D^2 * \text{Sen}\left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{2}\right) \quad (3.97)$$

Donde:

H: Presión estática en la tubería a la altura del anclaje, [m].

D: Diámetro interno de la tubería, [m].

θ_1 : Ángulo de inclinación de la tubería con respecto a la horizontal en el tramo aguas arriba del anclaje.

θ_2 : Ángulo de inclinación de la tubería con respecto a la horizontal aguas abajo del anclaje.

d) Cálculo de la componente del peso de la tubería paralela a ella F_4 . [13]

En una cuesta, la componente del peso del tubo, paralela al mismo, tiende a tirarlo hacia abajo y ejerce una fuerza en un anclaje.

Se deben considerar las secciones de una tubería tanto aguas arriba como aguas abajo de un anclaje. La longitud (L_4) en la ecuación de la fuerza F_4 que actúa en un anclaje es la longitud de la sección aguas arriba o aguas debajo de la tubería que realmente debe ser controlada por ese anclaje.

La sección aguas arriba puede comenzar en la cámara de carga o, por lo general, en una junta de expansión. La sección aguas abajo por lo general se termina en una junta de expansión. Si la junta de expansión aguas abajo de un bloque de anclaje se localiza cerca del anclaje, como por lo general se hace, la fuerza que proviene del peso de la sección descendente del tubo entre el anclaje y la junta es insignificante y por lo general se desprecia.

$$F_4 = W_t * L_4 * \text{Sen}\theta \quad (3.98)$$

Donde:

W_t = Peso del Tubo por unidad de longitud, [Kgf/m].

L_4 = Longitud de la tubería a considerar en cada tramo. Generalmente es la distancia entre la junta de dilatación y el anclaje, [m].

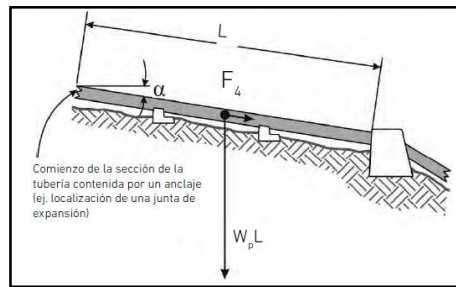


Figura 3.20Componente del peso de una tubería paralela a la sección de la misma. [13]

e) Cálculo de la tensión generada térmicamente F_5 [13]

El cálculo de esta tensión no se le considera ya que si se encuentra instalado una junta de expansión a continuación de cada anclaje, por lo que no hay tensiones inducidas térmicamente no golpean al anclaje.

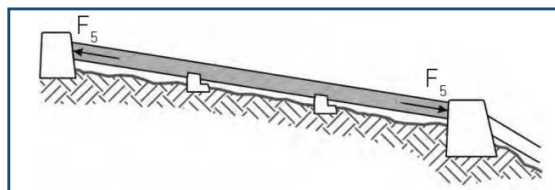


Figura 3.21Fuerzas Asociadas a las tensiones inducidas térmicamente. [13]

f) Cálculo de la fuerza de fricción dentro de una junta de dilatación F_6 [13]

La fuerza puede empujar contra el anclaje (con el aumento de la temperatura,) o tirar del anclaje (con la disminución de la temperatura).

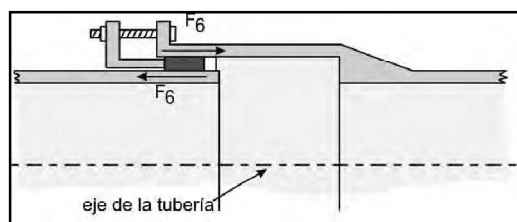


Figura 3.22Fuerza debida a la fricción dentro de una junta de expansión. [4]

$$F_6 = 10 * D \quad (3.99)$$

Donde:

D = Diámetro de la tubería, [m].

g) Cálculo de la fuerza debida a la presión hidrostática dentro de las juntas de expansión F_7 [13]

Las dos secciones de la tubería que entran en una junta de expansión terminan dentro de la unión; por lo tanto, sus extremos están expuestos a la presión hidrostática, causando una fuerza que empuja contra los anclajes aguas arriba y aguas abajo de la unión

$$F_7 = 3.1 * H * D * e \quad (3.100)$$

Donde:

H = presión hidrostática en el punto de interés. Distancia vertical entre el nivel normal del tanque de presión y el centro del bloque.

e = Espesor de la tubería, [m].

D = Diámetro de la tubería, [m].

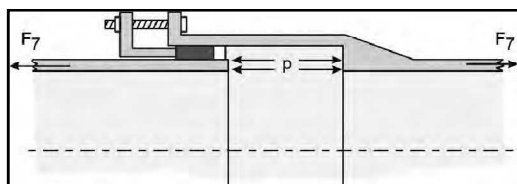


Figura 3.23 Fuerza debida a la presión hidrostática dentro de una junta de expansión. [13]

El resumen de fuerzas actuantes en los apoyos se muestra en la Tabla 3.25 y Tabla 3.26:

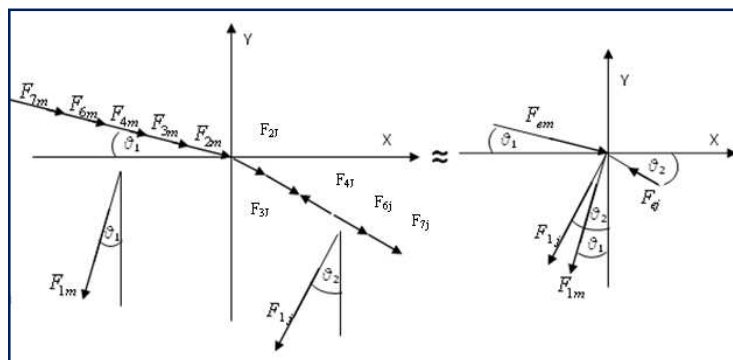
Tabla 3.25 FUERZAS ACTUANTES EN LOS ANCLAJES AGUAS ARRIBA

Anclaje	F_{1m} : [kgf]	F_{2m} : [kgf]	F_{3m} : [kgf]	F_{4m} : [kgf]	F_{6m} : [kgf]	F_{7m} : [kgf]
1	433,775	216,888	0	0	1,463	0
2	1226,72	3680,15	690,983	9433,406	1,463	0,113
3	939,123	1879,76	-1363,7	9388,374	1,463	0,112
4	1562,7	7826,65	-766,61	10424,11	1,463	0,124
5	1885,42	7541,7	1274,42	4855,969	1,463	0,071
6	939,123	4699,95	-1506	18776,75	1,463	0,245
7	1246,65	9181,2	-4120,4	19161,61	1,463	0,229

Tabla 3.26 FUERZAS ACTUANTES EN LOS ANCLAJES AGUAS ABAJO

Anclaje	$F_{1j} : [kgf]$	$F_{2j} : [kgf]$	$F_{3j} : [kgf]$	$F_{4j} : [kgf]$	$F_{6j} : [kgf]$	$F_{7j} : [kgf]$
1	1226,72	3680,15	0	9433,406	1,463	0,113
2	939,123	1879,33	690,983	9388,374	1,463	0,112
3	1562,7	7826,65	-1363,7	10424,11	1,463	0,124
4	1885,42	7541,7	-766,61	4855,969	1,463	0,071
5	939,123	4699,95	1274,42	18776,75	1,463	0,245
6	1248,18	9181,97	-1506	19161,61	1,463	0,229
7	1246,65	9181,2	-4120,4	19161,61	1,463	0,229

El Diagrama de las fuerzas que actúan en un anclaje se puede observar en la Figura 3.24.

**Figura 3.24** Diagrama de las fuerzas que actúan en un anclaje. [5]

3.2.6.3 Cálculo de fuerzas resultante en los anclajes[5]

Se suman las fuerzas paralelas a la tubería que actúan sobre el anclaje aguas arriba y aguas abajo. [5]

$$F_{em} = F_{2m} + F_{3m} + F_{4m} + F_{6m} + F_{7m} \quad (3.101)$$

$$F_{ej} = -F_{2j} - F_{3j} + F_{4j} - F_{6j} - F_{7j} \quad (3.102)$$

Las fuerzas resultantes que actúan sobre un anclaje que permite variar la pendiente vertical son:

La componente horizontal en el eje x: [5]

$$F_{xv} = -F_{1m}\sin\theta_1 + F_{em}\cos\theta_1 - F_{1j}\cos\theta_1 - F_{ej}\cos\theta_2 \quad (3.103)$$

La componente horizontal en el eje y: [5]

$$F_{yv} = -F_{1m}\cos\theta_1 - F_{em}\sin\theta_1 - F_{1j}\cos\theta_2 - F_{ej}\sin\theta_2 \quad (3.104)$$

El resumen de fuerzas resultantes actuantes en los apoyos se encuentran en la Tabla 3.27.:

Tabla 3.27 FUERZAS RESULTANTES ACTUANTES EN LOS ANCLAJES

Anclaje	$F_{em}:[Kgf]$	$F_{ej}:[Kgf]$	$F_{xv}:[Kgf]$	$F_{yv}:[Kgf]$
1	218,3505	5751,683	-4281,86	-5367,503
2	13806,11	6816,486	4618,102	-17000,85
3	9906,059	3959,53	241,2349	-12381,27
4	17485,74	-1920,652	14863,16	-11420,24
5	13673,63	12800,66	4497,945	-16914,8
6	21972,42	11483,94	1584,225	-28499,28
7	24224,06	3902,085	11461,56	-18441,57

3.2.6.4 Condiciones de estabilidad [5]

Para que un anclaje sea estable y cumpla su objetivo, se deben cumplir con varias condiciones:

- I. Que no se voltee, debe garantizarse de manera simultánea que la suma de las fuerzas pase por un tercio medio de la base, con relación a sus dimensiones B,C. [5]

$$e_{xc} < \frac{c}{3} \quad (3.105)$$

e_{xc} se determina a través de la siguiente expresión: [5]

$$e_{xc} = \frac{(F_{em} \cdot \cos \theta + F_{ej} \cdot \cos \theta_2) \cdot A}{F_{YV} + G_c} - \frac{(G_c + W_t + W_a) \cdot c/2}{F_{YV} + G_c} \quad (3.106)$$

Donde:

$W_t + W_a$ corresponde a la componente vertical del peso del agua y la tubería y se determinó de las ecuaciones (3.94) y (3.95).

En el caso que no se cumpliera se debe aumentar los valores de C en las dimensiones del anclaje.

El peso del concreto del anclaje es igual a: [5]

$$G_c = \gamma_c \cdot V_c \quad (3.107)$$

Donde:

γ_c : Peso específico del material del bloque de concreto 2400 (Kgf/m³).

V_c = Volumen del concreto del anclaje, [m³]

A continuación se presenta la TABLA 3.28 con los siguientes valores:

Tabla 3.28 PRIMERA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD.

Anclaje	exc	c/3	exc < c/3
1	0,280144	0,3	OK
2	0,257481	0,266667	OK
3	0,224481	0,266667	OK
4	0,319422	0,333333	OK
5	0,245329	0,266667	OK
6	0,296614	0,3	OK
7	0,58126	0,666667	OK

- II.** Se debe satisfacer a la relación entre los momentos M_{XC} y M_{XB} con la componente vertical F_{YV} : (Los momentos expresados en Kgf-m) [5]

$$\frac{M_{XC}}{F_{YV}} \geq 1.5 \quad (3.108)$$

$$\frac{M_{XB}}{F_{YV}} \geq 1.5 \quad (3.109)$$

Donde:

$$M_{xc} = F_{YV} * \frac{L_1}{2} - (F_{XV} + F_{XH}) * \frac{C}{2} \quad (3.110)$$

$$M_{xB} = F_{YV} * \frac{L_1}{2} - F_{YV} * \frac{B}{2} \quad (3.111)$$

La Tabla 3.29, se resume la condición antes mencionada respecto a todos los anclajes:

Tabla 3.29 SEGUNDA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD.

Anclaje	Mxc [Kgf-m]	Mxb [Kgf-m]	Fyv [Kgf]	(Mxc/Fyv)>1,5	(Mxb/Fyv)>1,5
1	-8808,167	-8319,63	-5367,5	1,64	1,55
2	-38654,07	-27456,37	-17000,8	2,27	1,615
3	-25849,54	-20800,54	-12381,3	2,08	1,68
4	-33127,11	-21698,45	-11420,2	2,90	1,9
5	-38419,72	-29008,88	-16914,8	2,27	1,715
6	-58708,95	-46596,33	-28499,3	2,06	1,635
7	-20682,35	922,07844	-18441,6	2,12	2,1

Ambas condiciones se cumplen satisfactoriamente para todos los anclajes.

- III.** Para que el anclaje no se entierre debe garantizarse que los esfuerzos transmitidos al terreno Ψ_c y Ψ_t no sean superiores a la capacidad portante del mismo Ψ_{ad} : [5]
(Los esfuerzos están expresados en Kg/m²).

$$\Psi_c \leq \Psi_{ad} \quad \text{Condición correcta} \quad (3.112)$$

$$\Psi_c \leq 0 \quad \text{Condición correcta} \quad (3.113)$$

Donde:

$$\Psi_c = \frac{\sum F_v}{B \times C} \left(1 + \frac{6e_x}{C} \right) \quad (3.114)$$

$$\Psi_t = \frac{\sum F_v}{B \times C} \left(1 - \frac{6e_x}{C} \right) \quad (3.115)$$

Donde:

$\sum F_v$ = Sumatoria de fuerzas verticales, [Kg].

B = Ancho del apoyo, [m].

C = Longitud del apoyo. [m]

e_x = Distancia a la cual debe pasar la suma de los esfuerzos verticales para que el apoyo no se voltee.[m]

En la sumatoria de fuerzas verticales debe estar incluido el peso del concreto del anclaje, es decir: [5]

$$\Sigma F_v = G_c + W_t + W_a + F_{em} \sin \theta_1 + F_{ej} \sin \theta_2 \quad (3.116)$$

El terreno donde se asentará el anclaje es de roca calcárea y arena gruesa. El valor de Ψ_{ad} se indican en la Tabla 3.22.

En la Tabla 3.30 se presenta un resumen de la tercera condición de estabilidad:

Tabla 3.30 SEGUNDA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD

Anclaje	Ψ_t [Kg/m ²]	$\Psi_t > 0$	Ψ_c [Kg/m ²]	$\Psi_c < \Psi_{ad}$
1	56772,158	OK	39909,36	OK
2	203060,02	OK	157935,4	OK
3	93569,079	OK	52396,54	OK
4	78540,982	OK	48731,98	OK
5	279008,29	OK	230636,9	OK
6	212236,31	OK	128553,2	OK
7	26055,32	OK	3319,322	OK

Si el dimensionamiento de los anclajes cumple con todas estas condiciones su dimensionamiento es correcto.

3.3 Selección y dimensionamiento de la turbina

3.3.1 Altura o Salto Neto [4]

La altura neta que es el resultado de restar las pérdidas de carga totales a lo largo del sistema de la altura bruta.

$$H_N = H_B - H_{RT} \text{ [m]} \quad (3.117)$$

Donde:

H_B = Altura bruta [m], 150m.

H_{RT} = Pérdidas totales en la tubería de presión, [m], ecuación 3.20.

$$H_N = 150\text{m} - 3.9314\text{m}$$

$$H_N = 146.0686\text{ m}$$

3.3.2 Selección de la turbina hidráulica [16]

Tomando en consideración la altura de salto neta y el caudal de diseño se puede seleccionar una turbina utilizando gráficas que conjugan ambas dimensiones delimitando zonas en el plano en donde una turbina trabaja plenamente. Estas gráficas son mapas de selección de turbinas como el mostrado en la siguiente figura, que cada fabricante elabora y pone a disposición de sus clientes.

Para la selección se intersecará una vertical en el valor del caudal, con la horizontal con el valor de la caída neta.

Luego de reconocer en que zona se encuentra se procede a decidir entre las posibles alternativas en función de las velocidades específicas antes descritas.

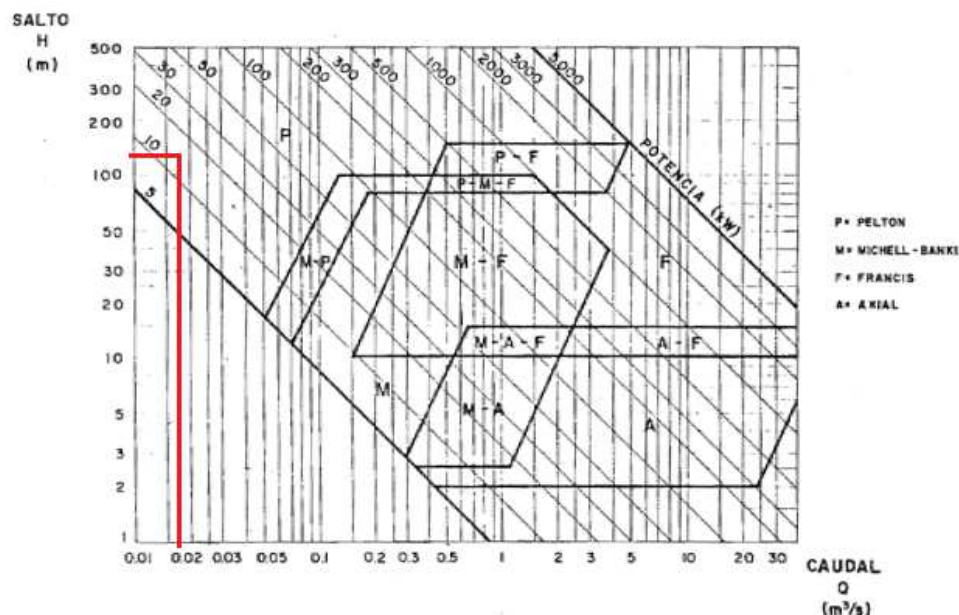


Figura 3.25 Nomograma de selección de turbinas. [16]

3.3.3 Parámetros fundamentales de diseño

En este proyecto no se pretende diseñar el grupo electromecánico; en su lugar, utilizando criterios y datos ya analizados previamente en este estudio, se va a realizar la selección de equipos estandarizados de una gama de fabricantes en el mercado.

La selección de una turbina está relacionada directamente con los siguientes parámetros:

- Caudal de diseño.
- Altura Neta.
- Número de revoluciones del eje.

De acuerdo a estos datos se puede diseñar cualquier tipo de turbina de acción o de reacción.

3.3.3.1 Potencia hidráulica neta[4]

La potencia hidráulica neta viene dada por: [4]

$$P_h = \gamma_w * Q * H_N \quad [\text{Watt}] \quad (3.118)$$

Donde:

γ_w = Peso específico del agua, 9810 [N/m³].

Q_d = Caudal de diseño, [m³/s].

H_N = Altura neta disponible, [m].

$$P_h = 9.810 * 0.0165 * 146.068$$

$$P_h = 23643.296 \text{ Watts} = 32.218 \text{ CV}$$

3.3.3.2 Potencia al freno de la turbina [16]

Corresponde al producto de la potencia hidráulica neta por la eficiencia mecánica de la turbina determinada por la presencia de pérdidas mecánicas.

La eficiencia mecánica de las turbinas depende de las características propias del fabricante y también se puede estimar utilizando la *Figura 3.26*. que está en función del porcentaje de carga al que trabaja la turbina. [16]

$$[\text{Watt}] \quad (3.119)$$

Donde:

P_t = Potencia al freno de la turbina, [Watts].

P_h = Potencia hidráulica neta, [Watts].

η_m = Eficiencia Mecánica de la turbina a plena carga. 85%

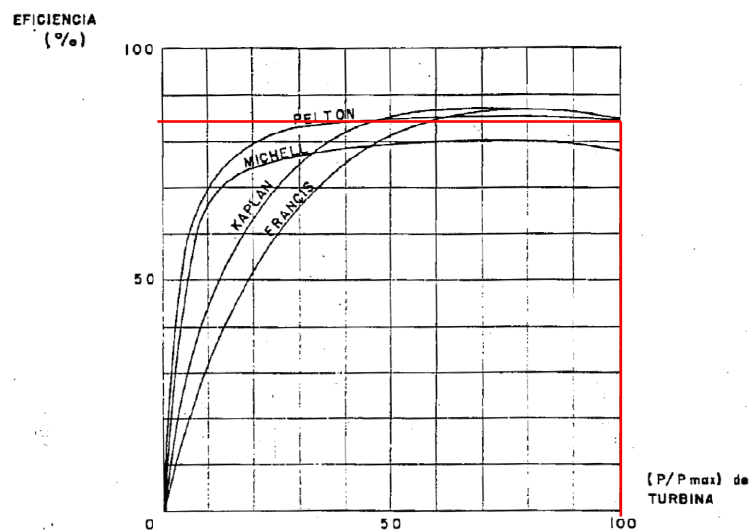


Figura 3.26 Eficiencias de turbinas para diferentes porcentajes de carga. [16]

$$= 27.38 \text{ CV}$$

3.3.3.3 Potencia transmitida a la bomba [16]

Es el producto de la potencia al freno de la turbina por la eficiencia de la transmisión, si no posee acople directo. El tipo de transmisión utilizado para estos proyectos son de tipo engranaje o bandas. [16]

Tabla 3.31 RENDIMIENTO DE LOS TIPOS DE TRANSMISIÓN.[17]

TIPO	η_{TR}
Engranajes	0.98
<u>Bandas o fajas en “V”</u>	<u>0.95</u>

$$P_{TR} = P_t * \eta_{TR} \quad [KW] \quad (3.120)$$

Donde:

P_t = Potencia al freno de la turbina, [KW].

P_{TR} = Potencia transmitida a la bomba, [KW].

$$P_{TR} = 20096.8027 \text{ Watts} * 0.95$$

$$P_{TR} = 19091.9618 \text{ Watts} = 25.98 \text{ CV}$$

3.3.4 Velocidades específicas [16]

Un parámetro importante que se requiere para el diseño es el definir el número de revoluciones N al que va a girar la turbina.

Se debe asumir un diámetro de paso, para calcular el número óptimo de revoluciones, se recomienda un D_p entre (0.25 y 0.40)m, para caudales inferiores a los 40 lt/s. [16]

$$N = \frac{84.54 * K_u * \sqrt{H_n}}{D_p} \quad (3.121)$$

Donde:

N = Número óptimo de revoluciones de la turbina, en RPM.

D_p = Diámetro de paso del rodete.

$K_u = 0.44$ Coeficiente de velocidad de rotación, su valor se puede estimar en 0.44

H_n = Altura neta = 146.0686 m

Asumiendo un diámetro de rodete de 0.27 m

$$N = \frac{84.54 * 0.44 * \sqrt{146.0686}}{0.27}$$

$$N = 1442.56 \text{ rpm}$$

Uno de los principales criterios que se deben manejar a la hora de seleccionar el tipo de turbina, es la velocidad específica cinemática (N_s) y la velocidad específica dinámica (N_q).

3.3.4.1 Velocidad específica en función de la potencia de la turbina: [16]

$$N_s = \frac{N\sqrt{P_t}}{(H_N)^{5/4}} \quad (3.122)$$

Donde:

N = Velocidad de rotación de la turbina, [rpm].

P_t = Potencia de freno de la turbina, [CV].

H_N = Altura Neta, [m].

$$N_s = \frac{1442.56\sqrt{32.21}}{(146.0686)^{5/4}}$$

$$N_s = 18.9211 \text{ rpm}$$

3.3.4.2 Velocidad específica en función del caudal: [16]

$$N_q = \frac{N\sqrt{Q_d}}{(H_N)^{3/4}} \quad (3.123)$$

Donde:

N = Velocidad de rotación de la turbina, [rpm].

Q_d = Caudal de diseño, [m^3/s].

H_N = Altura Neta, [m].

$$N_q = \frac{1442.56\sqrt{0.0165}}{(146.0686)^{3/4}}$$

$$N_q = 5.1776 \text{ rpm}$$

3.3.5 Rango de aplicación de las turbinas hidráulicas. [5]

Existen tablas donde se indican las características fundamentales de las turbinas.

En la siguiente tabla se muestran los rangos de utilización de las turbinas en función de la velocidad específica N_s , el caudal, la altura bruta, potencia y rendimiento.

Tabla 3.32 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS.[5]

Turbina		Inventor y año de patente	Ns (rpm, Hp, m) RPM	Caudal Q [m ³ /s]	Altura Neta H [m]	Potencia P [KW]	Rendimiento η [%]
A c c i ó n	Pelton	Lester Pelton (EEUU) 1880	1Ch: 20 - 30 2Ch: 30 - 50 3Ch: 30 - 50 4Ch: 50 - 70	0,05 - 50	30 - 1800	2 - 300000	91
	Turgo	Erick Crewdson (G. Bretaña) 1920	60 - 260	0,025 - 10	15 - 300	5 -- 8000	85
	Michel - Banki	A. G. Michel (Australia) 1820 D. Banki (Hungria) 1919	40 - 160	0,025 - 5	1 - 50 (200)	1 - 750	82
R e a c c i ó n	Bomba Rotodinámica	Dionisio Papin (Francia) 1689	30 - 70	0,05 - 0,25	10 - 250	5 - 500	80
	Francis	James Francis (G. Bretaña) 1848	L: 60 - 150 N: 150 - 250 R: 250 - 400	1 - 500	2 - 750	2 - 750000	92
	Deriaz	P. Deriaz (Suiza) 1956	60 - 400	500	30 - 130	100000	92
	Kaplan y de Hélice	V. Kaplan (Austria) 1912	300 - 800	1000	5 - 80	2 - 200000	93
	Axiales: -Tubular -Bulbo -Generador Periférico	-Khune 1930 -Hugenin 1933 -Harza 1919	300 - 800	600	5 - 30	100000	93

Otro rango de las turbinas lo definen los números específicos de revoluciones N_q y

N_s .

Tabla 3.33 RANGO DE APLICACIÓN DE TURBINAS SEGÚN VELOCIDADES ESPECÍFICAS.[16]

TIPO DE TURBINA	N_q	N_s
<u>Turbina Pelton de 1 Tobera</u>	<u>hasta 9</u>	<u>hasta 28</u>
Turbina Pelton de 2 Toberas	4 a 13	14 a 42
Turbina Pelton de 3 Tobera o más	5 a 22	17 a 73
Turbina Michell – Banky	18 a 60	60 a 200
Turbina Francis Lenta	18 a 68	69 a 125
Turbina Francis Normal	38 a 68	125 a 225
Turbina Francis Rápida	68 a 135	225 a 450
Turbina Axial	105 a 300	350 a 1000

3.3.6 Diseño hidráulico [16]

El diseño hidráulico de una turbina se realiza para determinar las dimensiones de sus elementos principales, en base a la caracterización de este tipo de turbina.

El diseño del inyector se lo hace de tal forma que el agua se acelere, transformando toda su energía potencial en cinética y que a la salida del mismo se oriente un chorro de agua de sección circular hacia las cucharas del rodete.

Las cucharas ubicadas en la periferia del rodete, reciben el impulso del chorro de agua, absorbiendo su energía cinética y transmitiéndola al eje de la turbina para generar potencia mecánica.

En el diseño de las cucharas se define una geometría que permita aprovechar al máximo la energía que se entrega al rodete.

3.3.6.1 Cálculo del diámetro Pelton [16]

El diámetro Pelton es el diámetro correspondiente a la circunferencia media de las cucharas, tangente a la línea media del chorro y se calcula de la siguiente manera: [16]

$$D_p = \frac{84.54 * Ku' * H_N^{\frac{1}{2}}}{N} \quad [m] \quad (3.124)$$

Donde:

H_N = Altura Neta, [m].

N = Velocidad de rotación de la turbina, [rpm].

K_u = Coeficiente de velocidad de rotación

$$K_u = 0.49 - 0.0072 * \frac{Nq}{i^{\frac{1}{2}}} \quad (3.125)$$

Donde:

Nq = Velocidad específica en función del caudal.

i = Número de toberas de la turbina.

$$K_u = 0.49 - 0.0072 * \frac{5.1776}{1^{\frac{1}{2}}}$$

$$K_u = 0.45$$

$$D_p = \frac{84.54 * 0.45 * 146.0686^{\frac{1}{2}}}{1442.56}$$

$$D_p = 0.298 \text{ m} = 0.30\text{m}$$

Inicialmente se tomó un valor para el diámetro Pelton de 0.27m y es muy aproximado a 0.30 con lo que son aceptables los valores de velocidades.

3.3.6.2 Geometría de un inyector [17]

Los inyectores de la turbina Pelton están formados por un codo de sección circular progresivamente decreciente, un tramo recto de sección circular en donde se monta coaxialmente una aguja con cabeza en forma de bulbo y finalmente una boquilla que oriente el flujo de agua en forma tangencial al rodete.

En la siguiente figura se observa las partes indicadas y detalles de la construcción de un inyector.

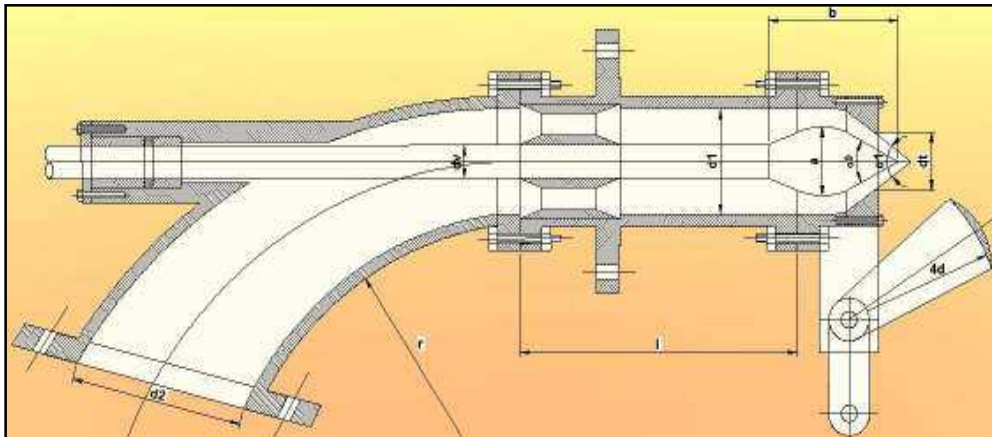


Figura 3.27 Tobera de turbina Pelton [17]

Además de la regulación con aguja, generalmente se considera la regulación de caudal mediante un deflector. Esta doble regulación permite evitar riesgos de golpe de ariete, producto de un cierre brusco de la aguja.

3.3.6.2.1 Dimensionamiento de la tobera [17]

Debido a que la turbina Pelton es una turbina de acción donde la altura neta se convierte en energía cinética, la velocidad de chorro a la salida del inyector es: [17]

$$C_i = k_c \sqrt{2 * g * H_N} \quad [\text{m/s}] \quad (3.126)$$

Donde:

k_c = Coeficiente de velocidad que depende de las pérdidas en el inyector, se determina del siguiente gráfico son:

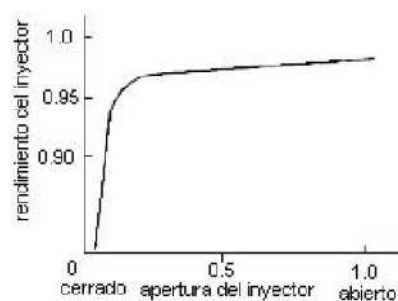


Figura 3.28 Tobera de turbina Pelton[17]

H_N = Altura Neta, [m].

$$C_i = 0.95\sqrt{2 * 9.8 * 146.0686}$$

$$C_i = 50.831 \text{ m/s}$$

Las dimensiones de la tobera están en función del diámetro del chorro, el cual se determina utilizando la siguiente ecuación (3.127):

$$d = \sqrt{\frac{4 * \frac{Q_o}{I}}{\pi * C_i}} \quad [\text{m}] \quad (3.127)$$

Donde:

d = Diámetro de la sección del chorro, [m].

Q_o = Caudal que fluirá por cada tobera de la turbina [m^3/s].

I = Número de Inyectores.

C_i = Velocidad óptima [m/s].

$$d = \sqrt{\frac{4 * \frac{0.0165}{1}}{\pi * 50.831}}$$

$$d = 0.0203 \text{ m}$$

En la Tabla 3.34 se observa de dimensiones de la tobera en función del diámetro del chorro que complementan a la Figura 3.27 en donde se indican las proporciones del deflector.

Tabla 3.34 PROPORCIONES DE LA TOBERA EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO DEL CHORRO (OLADE). [16]

T	α_0	α_1	d	X	d	b	d	l	r	d
1,42	40°	60°	1,1d	0,5d	0,58d	3,25d	4,5d	6,0d	15d	2,5d
0.	5	70°	0.028	0.02	0.02	0.072	0.09	0.22	0.44	0.07
1,62	60°	90°	1,4d	1,16d	1,16d	3,7d	4,6d	12,1d	25d	4,0d

Donde:

a = Diámetro máximo de la aguja, [m].

α_0 = Ángulo de la punta de la aguja, [grados].

α_1 = Ángulo de la punta del inyector, [grados].

d_t = Diámetro de la punta del inyector, [m].

x = Recorrido máximo de la aguja, [m].

d_v = Diámetro del vástago de la aguja, [m].

b = Longitud de la aguja, [m].

d_2 = Diámetro mayor en la curvatura del inyector, [m].

l = Longitud del tramo recto del inyector, [m].

r = Radio de curvatura del inyector, [m].

d_1 = Diámetro del tramo recto del inyector, [m].

3.3.6.2.2 Dimensionamiento del inyector [16]

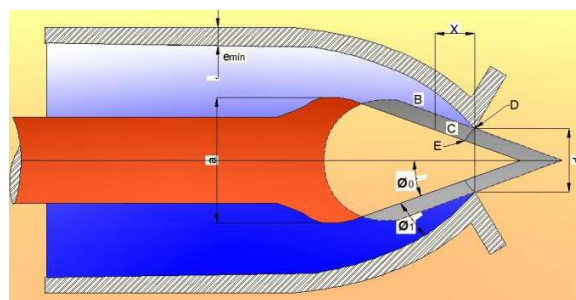


Figura 3.29 Dimensiones de un inyector de una turbina Pelton. [16]

Donde:

d_t = Diámetro de la salida de la tobera [m].

x = Recorrido de la aguja (m).

a = Radio de curvatura del bulbo (m).

Φ_0 = Ángulo de la punta de la aguja (grados).

Φ_1 = Ángulo de la punta del inyector (grados).

Si el agua transportara arena, hubiese erosión en la cabeza de la tobera y en la punta de la válvula de aguja, por lo que se construyen como unidades separadas fácilmente recambiables, por lo general se construyen de acero inoxidable, pero también se construyen de bronce, bronce-aluminio u otro material resistente a la erosión.

Tabla 3.35 TABLA DE MATERIALES RECOMENDADOS PARA INYECTORES (ASTM)[16]

ACERO INOXIDABLE		
Material	Número	Grado
25-20 Cr Ni Tipo 310	A-403/A-312	WP-310/TP-310
COBRE Y SUS ALEACIONES		
Material	Número	Grado
Aluminio-Bronce	B-169	D
Cobre y Níquel 90/10	B-111	90/10 Cu Ni
Bronce Rojo	B-36/B-43	-
Cobre Desoxidado	B-42	-
Cobre y Níquel 70/30	B-111/B-122	-

a) Diámetro de salida de la tobera.

Para facilitar la regulación es conveniente diseñar el inyector de manera que exista proporcionalidad al menos aproximada, entre la potencia de la turbina y la traslación x de la aguja medida a partir de la obturación total de la tobera.

b) Carrera del vástago.

La carrera del vástago de la válvula de aguja suele hacerse mayor que la necesaria para obtener el diámetro máximo D_o del chorro, a fin de disponer de una reserva de potencia.

c) Radio de curvatura del bulbo.

El radio de curvatura del bulbo debe ser grande, a fin de evitar los desprendimientos, y el diámetro b del mismo suele hacerse de manera que: [16]

$$b = (1.25 - 1.30) \cdot d \quad (3.128)$$

d) Otros parámetros.

Lo ordinario es hacer que $20^\circ \leq \Phi_o \leq 30^\circ$ y que $30^\circ \leq \Phi_1 \leq 45^\circ$, aunque se construyen inyectores con ángulos mucho mayores, con Φ_o hasta 45° y Φ_1 hasta 60° .

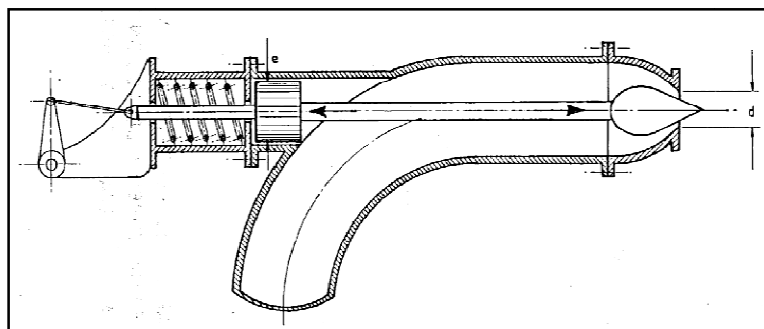


Figura 3.30 Diseño del inyector, parámetros de diseño. [16]

3.3.6.2.3 Geometría del rodete [16]

La geometría del rodete de la turbina Pelton depende principalmente de la relación que existe entre el diámetro Pelton (D_p) y el diámetro de la sección transversal del chorro (d), que a su vez define el número específico de revoluciones (N_q). Esto se puede observar en la ecuación (3.130):

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (3.130)$$

Esta ecuación se deduce de las expresiones que definen el número óptimo de revoluciones y el diámetro de la sección del chorro.

a) Dimensiones de las cucharas Pelton en función del diámetro del chorro.

En la Tabla 3.36 se presenta los diferentes valores para las dimensiones de las cucharas las cuales pueden tomar los rangos que se señalan.

Tabla 3.36 DIMENSIONES DE LAS CUCHARAS PELTÓN EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO DE CHORRO. [16]

B	L	D	f	M	e	β_1	β_2	l	β	β_4	J
2,5d	2,5d	0,85d	0,8d	1,0d	0,3d	10	4°	1,6	2°	0°	0,1
0,07	0,07	0,02	0,02	0,025	0,01	20°	15°	0,03	5°	15°	0,15
4,0d	3,5d	1,3d	1,1d	1,2d	0,6d	30	20	1,7	5°	20	0,2

Tabla 3.37 NÚMERO DE CUCHARAS EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN D_p/d . [16]

D_p/d	Ku	#	
		Z min	Zmáx.
<u>15</u>	<u>0,471</u>	<u>21</u>	<u>27</u>
14	0,469	21	26
13	0,466	20	25
12	0,463	20	24
11	0,460	19	24
10	0,456	18	23
9	0,451	18	22
8	0,445	17	22
7,5	0,441	17	21

Donde se tiene un valor de:

$$\frac{D_p}{d} = \frac{0.3}{0.02} = 15$$

$$Z = \frac{1}{2} \left(\frac{0.3}{0.02} \right) + 16$$

$$Z = 23.5 = 24$$

Y seleccionamos la cantidad de 24 cucharas.

Para definir el diámetro D_o de una circunferencia con centro en C, cuyas tangentes determinan la orientación de las aristas de las cucharas se utiliza una fórmula que está en función del diámetro del rodete, diámetro del chorro y el número de cucharas, de acuerdo a la ecuación (3.132):

$$D_o = \frac{D_p \cdot Z}{7.87 \left(\frac{D_p}{d} \right)^{-26}} \quad (3.132)$$

Donde:

D_o = Diámetro de la circunferencia cuyas tangentes determinan la orientación de las aristas de las cucharas

D_p = Diámetro Pelton, [m].

d = Diámetro del chorro, [m].

Z = Número de cucharas.

$$D_o = \frac{0.30 * 25}{7.87 * \left(\frac{0.3}{0.02}\right) - 26}$$

$$D_o = 0.083 \text{ m}$$

c) Ángulo de talonamiento.

Es el ángulo formado por la arista de la cuchara y la parte posterior de la misma cuchara, se puede observar la Figura 36.

En la siguiente tabla se encuentra los ángulos de talonamiento en función del número de cucharas y de la relación diámetro del rotor- diámetro del chorro. Los valores indicados en dicha tabla pueden ser modificados en función de los ensayos de laboratorio que se realicen con este tipo de turbinas.

Tabla 3.38 ÁNGULOS DE TALONAMIENTO RECOMENDADOS. [16]

Dp/d	NUMEROS DE CUCHARAS										
	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
15	38°	38°	37°	<u>37°</u>	36°	36°	35°				
14		37°	37°	36°	35°	35°	34°				
13			36°	36°	35°	34°	34°	33°			
12				35°	34°	34°	33°	32°			
11				35°	34°	33°	33°	32°	31°		
10					34°	33°	32°	31°	30°	30°	
9						34°	33°	32°	30°	30°	
8						35°	34°	33°	31°	30°	29°
7,5						35°	34°	32°	31°	31°	29°

Para determinar la orientación del borde de la cuchara con respecto al centro del giro del rodete, se utiliza la siguiente relación práctica:

$$D_o' = \frac{D_p * [5.3 - 0.12 \left(\frac{D_p}{d} \right)]}{Z} \quad (3.133)$$

Donde:

D_o' = Diámetro del círculo, cuyas tangentes definen la orientación del borde de la cuchara.

D_p = Diámetro Pelton, [m].

d = Diámetro del chorro, [m].

Z = Número de cucharas.

$$D_o' = \frac{0.3 * \left[5.3 - 0.12 * \left(\frac{0.3}{0.02} \right) \right]}{24}$$

$$D_o = 0.0437 \text{ m}$$

Con esta relación se obtiene el valor del ángulo β_4 , (Figura 3.31), con el uso de la siguiente ecuación:

$$\beta_4 = \beta' - \beta'' \quad (3.134)$$

Donde:

$$\beta' = \arcsen \left(\frac{Z}{7.87 * \left(\frac{D_p}{d} \right) - 26} \right) \quad (3.135)$$

$$\beta'' = \arcsen \left(\frac{5.3 - 0.12 * \left(\frac{D_p}{d} \right)}{Z} \right) \quad (3.136)$$

$$\beta' = \arcsen \left(\frac{24}{7.87 * \left(\frac{0.3}{0.02} \right) - 26} \right) = 15.1132$$

$$\beta'' = \arcsen \left(\frac{5.3 - 0.12 * \left(\frac{D_p}{d} \right)}{Z} \right) = 8.3855$$

$$\beta_4 = 15.1132 - 8.3855 = 6.7276$$

A partir de estas ecuaciones se elaboró la siguiente tabla que indica el valor del ángulo β_4 en función de la relación D_p/d y del número de cucharas del rodete.

Tabla 3.39 VALOR DEL ÁNGULO B_4 EN LA CUCHARA DEL RODETE. [16]

Dp/d	NÚMERODECUCHARAS										
	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
15	10°	9°	8°	<u>7°</u>	6°	5°	4°				
14		10°	9°	8°	7°	6°	5°				
13			11°	9°	8°	7°	6°	4°			
12				11°	10°	9°	7°	6°			
11				14°	12°	11°	9°	8°	6°		
10					16°	14°	12°	11°	9°	7°	
9						18°	16°	14°	12°	10°	
8						25°	23°	20°	18°	15°	13°
7,5						30°	27°	27°	22°	19°	16°

La orientación de las cucharas y su ángulo de talonamiento son factores determinantes para obtener buenas eficiencias en turbinas Pelton y también influye en la confiabilidad de las cucharas, porque un desgaste excesivo de la punta de la arista se debe a un inadecuado ángulo de talonamiento.

3.3.7 Diseño mecánico turbina Pelton [16]

El diseño de la turbina Pelton, tiene por objeto definir las dimensiones de cada una de las piezas que la conforman. Este diseño considera las diferentes alternativas de producción para cada pieza, sistemas adecuados para su ensamble.

Los cálculos mecánicos se realizan para definir si la resistencia del material utilizado para cada pieza es suficiente para soportar los esfuerzos a los que se la solicita, como un complemento del diseño de detalle y en muchos casos también sirven para definir la geometría final de cada pieza.

Se recomienda que la dimensión del ancho interno de la carcasa sea mayor o igual a quince veces el diámetro del chorro de la tobera, a fin de evitar que el agua que sale de las cucharas choque con las paredes y realice una acción de frenado hidráulico al salpicar contra las cucharas.

Un detalle importante lo constituye la ubicación de la tobera con respecto al rodete, para que se aproveche al máximo la velocidad del chorro de agua; en este aspecto se

recomienda instalar la boca de salida de la tobera lo más cercana posible al rodete, tratando de no exceder 2,5 veces el diámetro del chorro.

3.3.7.1 Diseño y cálculo del rodete [16]

Las dimensiones del rodete están definidas principalmente por la relación diámetro primitivo / diámetro del chorro. Esta relación define también el diseño de detalle del rodete Pelton, principalmente en lo que se refiere a la fijación de las cucharas del disco.

3.3.7.2 Resumen y datos de la turbina

a) Dimensionamiento de la Turbina Hidráulica:

Para seleccionar el tipo de turbina necesaria que se requiere para este sistema se utilizó el nomograma de la Figura 30 con los siguientes datos:

- Caudal: $0.0165 \text{ m}^3/\text{s}$
- Salto Bruto: 150 m

Según lo que indica el nomograma de la Figura 30, la turbina adecuada para los parámetros de altura neta y caudal es una tipo Pelton.

La eficiencia teórica de la turbina se obtiene utilizando el diagrama de la Figura 31 considerando que se trabaja a plena carga.

El valor de la eficiencia obtenido es del 85%.

La turbina para este sistema tiene los siguientes parámetros de diseño:

- Caudal de diseño: $0.0165 \text{ m}^3/\text{s} = 16.5 \text{ l/s}$
- Altura Neta: 146.686 m
- Velocidad: 1442.563 rpm
- N_q : 5.1776
- N_s : 18.9211

La turbina Pelton de un inyector resulta la más adecuada para los requerimientos del proyecto, ya que cumple con los rangos de velocidades específicas como se puede ver en la Tabla 3.34.

Con los parámetros antes mencionados, se define las siguientes dimensiones generales de la turbina, según el procedimiento de la OLADE descrito anteriormente:

- Número de Toberas: 1
- Potencia de freno: $20.09 \text{ Kw} = 27.38 \text{ CV}$
- Diámetro Pelton: 300 mm
- Diámetro del chorro: 20 mm
- Número de canjilones: 24
- Dimensiones de la tobera y de las cucharas:

Tabla 3.40 DIMENSIONES DE LA TOBERA.

Dimensiones Tobera	a: [m]	0,03	Diámetro máximo de la aguja.
	$\alpha 0$: [°]	50	Ángulo de la punta de la aguja.
	$\alpha 1$: [°]	70	Ángulo de la punta del inyector.
	dt: [m]	0,028	Diámetro de la punta del inyector.
	x: [m]	0,02	Recorrido máximo de la aguja.
	dv: [m]	0,02	Diámetro del vástago de la aguja.
	b: [m]	0,072	Longitud de la aguja.
	d2: [m]	0,09	Diámetro mayor en la curvatura del inyector.
	l: [m]	0,22	Longitud del tramo recto del inyector.
	r: [m]	0,44	Radio de curvatura del inyector.
	d1: [m]	0,07	Diámetro del tramo recto del inyector.

Tabla 3.41 DIMENSIONES DE CUCHARAS.

Dimensiones Cucharas	B: [mm]	70	Ancho de las cucharas
	L: [mm]	70	Longitud de las cucharas
	D: [mm]	20	Profundidad de las cucharas
	f: [mm]	20	Longitud de la cuchara desde el corte hasta el centro del chorro
	M: [mm]	25	Ancho del corte de la cuchara
	e: [mm]	10	Longitud radial del corte de la cuchara
	$\beta 1$: [°]	20	Ángulo de salida del agua de la cuchara

3.3.8 Alternativas de diseño

Para resolver el problema de la transformación de energía potencial en cinética y posteriormente en energía de fluido, se propone 2 posibles alternativas de diseño, las cuales serán analizadas en función de rendimiento, costo, facilidad de instalación, de mantenimiento y funcionalidad.

3.3.8.1 Diseño de la alternativa 1

Consiste en acoplar la turbina hidráulica a un generador eléctrico, para que con esa energía generada se pueda accionar una bomba hidráulica para conducir el fluido hasta el tanque de almacenamiento.

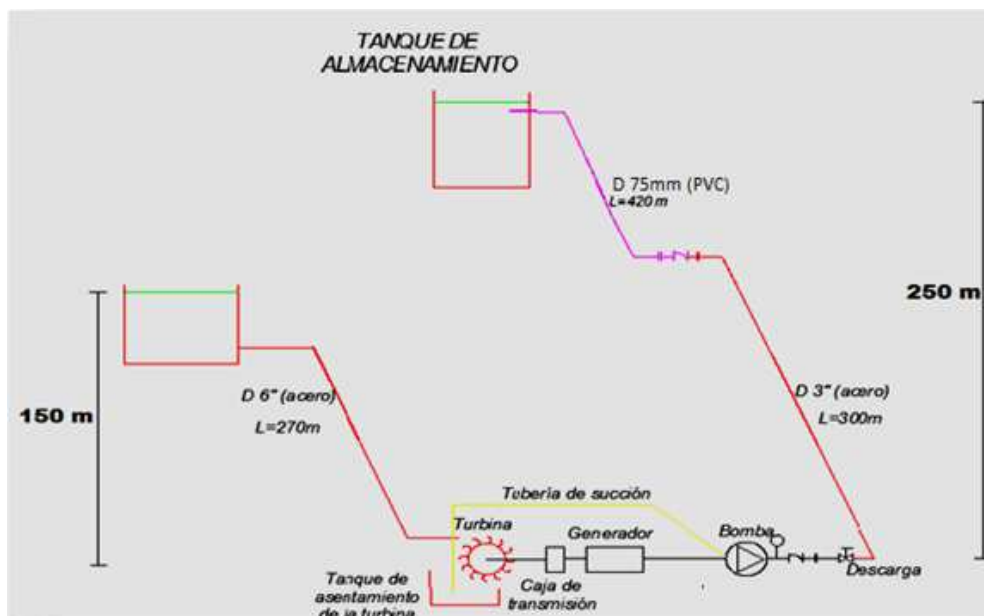


Figura 3.32 Esquema de la Alternativa 1

a) Transmisión:

La transmisión que se necesita para esta alternativa es la de transmisión por bandas tipo “V” sobre ejes horizontales paralelos, cuya relación de transmisión es de 7:9 debido a que la velocidad de la turbina es de 1442 rpm y la del generador es de 1800 rpm. El rendimiento de la transmisión es de 0.98.

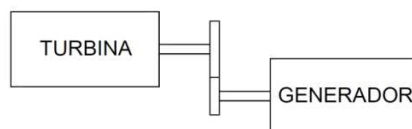


Figura 3.33 Esquema de la caja de transmisión.[18]

b) Generación eléctrica:

El generador que se puede utilizar es un generador síncrono, sin escobillas, auto excitado, con regulador electrónico de voltaje constante incorporado.

La velocidad es de 1800rpm con una frecuencia de 60 Hz. El rendimiento del generador es de 90%. La Potencia de salida del generador es de 56 KW.

c) Panel de control y gobernador:

Se propone un gobernador electrónico por control de carga mediante disipación de potencia excedente en un banco de cargas parásitas con tiristores de enfriamiento con ventilación forzada.

El panel de control estará equipado con instrumentos necesarios y suficientes para el funcionamiento automático como: Voltímetros, amperímetros, frecuencímetro analógico, pulsadores, etc.

Con esta información se consiguió una cotización de la empresa Betta Hidrourbinas de un equipo electromecánico (MICROCENTRAL) cuyas características técnicas y económicas.¹²

3.3.8.1.1 Especificaciones técnicas de los equipos electromecánicos (MICROCENTRAL) propuesto por Betta.

a) Generación Eléctrica: Generador Síncrono -tipo industrial, sistema de excitación “brushless” (sin escobillas) con Regulador electrónico tipo $U/F = \text{constante}$.

- Potencia Nominal del Generador (FP 0,8): 5 KVA
- Velocidad del generador: 1800 Rpm

¹² Anexo 3.9

- Frecuencia: 60 HZ
- n° de fases: 3
- Voltaje Nominal: 220 V
- Forma constructiva: Eje horizontal con 2 cojinetes

b) Panel de control y gobernador:

Regulador automático de velocidad, tipo electrónico y comando de control eléctrico.¹³

c) Costos:

El Valor FOB Santos es de 30,860.00 USD según el Anexo 3.9

El Valor total ex aduana en Quito es de 39,882.30 USD según el Anexo 3.10

Al comparar las especificaciones técnicas de la turbina que ofrece el fabricante Beta con las características de la turbina calculada según OLADE se observa que son muy similares por lo que se justifica su diseño y dimensionamiento.



Figura 3.34 Turbina y Generador Eléctrico de Beta Hidroturbinas.

3.3.8.2 Diseño de la alternativa 2

Consiste en acoplar la turbina hidráulica a una bomba mediante una transmisión por bandas para conducir el fluido hasta el tanque de almacenamiento.

¹³ Anexo 3.17

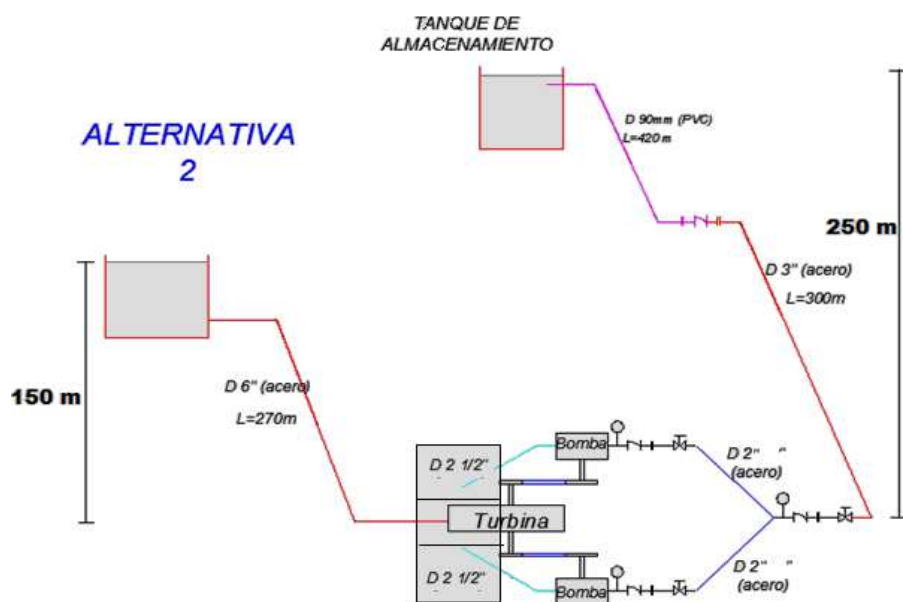


Figura 3.35 Esquema de la Alternativa 2

Con esta información se consiguió una cotización de la empresa Betta Hidroturbinas de un equipo electromecánico (TURBOBOMBA) cuyas características técnicas y económicas.¹⁴



Figura 3.36 Turbobomba de Betta Hidroturbinas

3.3.8.2.1 Especificaciones del equipo (TURBOBOMBA) propuesto por Betta.

a) **Transmisión:** Correas y poleas multiplicadoras de velocidad

¹⁴ Anexo 3.11

b) Costos:

El Valor FOB Santos es de 24.848,00 USD¹⁵

El Valor total ex aduana en Quito es de 29.642,24 USD¹⁶

Al comparar las especificaciones técnicas de la turbina que ofrece el fabricante Betta con las características de la turbina calculada según OLADE se observa que son muy similares por lo que se justifica su diseño y dimensionamiento.

3.4 Diseño del sistema de bombeo**3.4.1 Introducción**

Para el presente proyecto se necesita diseñar un sistema de bombeo, donde contamos con un caudal de 16.5 lt/s para la utilización del diseño hidráulico en la turbina pero el caudal disponible máximo a bombear es de 7 lt/s porque el resto del caudal será para la realización de un proyecto de riego por aspersión para la comunidad.

Por lo tanto queremos transportar el fluido desde la casa de máquinas ubicada a 3362 msnm hasta un tanque de almacenamiento situado en la Loma de San Francisco de Cunuguachay a 3612 msnm.

El fluido es agua que será destinada para el riego. El líquido a transportar tiene bajo contenido de sólidos en suspensión y su temperatura promedio es de 15°C.

A continuación se detalla las especificaciones físicas y técnicas del sistema de bombeo:

a) Ubicación del sistema de bombeo:

- Lugar: San Francisco de Cunuguachay.
- Altitud: 3362 msnm.
- Temperatura del medio ambiente: 15 °C.
- La presión barométrica de la localidad a una Altitud de 3362 m: 72746.82 Pa.

¹⁵ Anexo 3.11

¹⁶ Anexo 3.12

b) Características del fluido:

- Tipo de Fluido: Agua de vertiente (destinada para riego).
- Presión de Vapor a $15^{\circ}\text{C} = 0.25 \text{ Psia} = 1723.68925 \text{ Pa}$
- Viscosidad cinemática a $15^{\circ}\text{C} = 0.00000114 \text{ m}^2/\text{s}$
- Densidad = 999.085 Kg/m^3
- Peso Específico = 9791.03 N/m^3

c) Características del sistema de bombeo:

- Tiempo de funcionamiento del sistema de bombeo = 24 Horas al día.
- Caudal de la Bomba = máximo 7 lt /s
- El tanque de succión y descarga están abiertos a la atmósfera.
- Elevación Estática de Succión = 1m.
- Cabeza Estática de Descarga = 250m.
- Longitud de Tubería de Succión de la bomba = 2m.
- Longitud de Tubería de Descarga = 720m

3.4.2 Altura útil o efectiva (TDH) [21]

Es la cabeza total dinámica y está definida por la siguiente ecuación:

$$H = h_s + h_d \quad (3.139)$$

Donde:

h_s = Cabeza o columna dinámica de succión, [m].

h_d = Cabeza o columna dinámica de descarga, [m].

3.4.3 Selección de la bomba hidráulica para la alternativa 1**a) Parámetros de Selección:**

- Tiempo de funcionamiento del sistema de bombeo = 24 Horas al día.
- Caudal de Bombeo = 7 l/s
- El tanque de succión y descarga están abiertos a la atmósfera.
- Elevación Estática de Succión = 1 m.
- Cabeza Estática de Descarga = 250 m.
- Longitud de Tubería de Succión de la bomba = 2 m.

- Longitud de Tubería de Descarga = 720m

3.4.3.1 Selección de diámetros nominales adecuados para succión y descarga de la bomba [3] [20]

Para seleccionar los diámetros adecuados para la succión y descarga de la bomba utilizamos la Figura 3.37 que está en función del caudal de bombeo.

$$Q_b = 7 -$$

$$Q_b = 7 - \text{ ————— } = 110 \text{ GPM}$$

a) Selección del diámetro de succión:

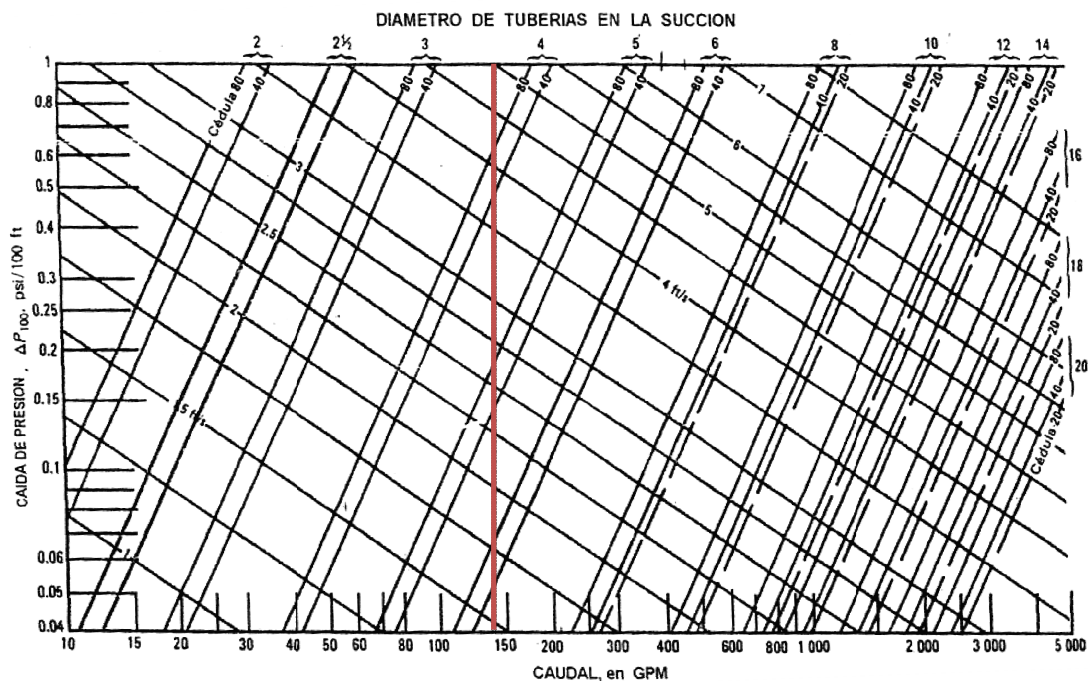


Figura 3.37 Selección del diámetro de succión, alternativa 1. [20]

Con un caudal de 110 GPM en la succión existe tres alternativas, 4", 5", 6".

Se selecciona el diámetro de 4" porque el diámetro de 5" no se encuentra disponible en la empresa de DIPAC.

Los datos de la tubería seleccionada según el catálogo de DIPAC son los siguientes:

- Material: Acero A-53 Gr. B
- Diámetro nominal: 4''
- Diámetro exterior: 114.30 mm.
- Diámetro interior: 97.18 mm.
- Espesor: 8.56 mm.

b) Selección del diámetro de descarga:

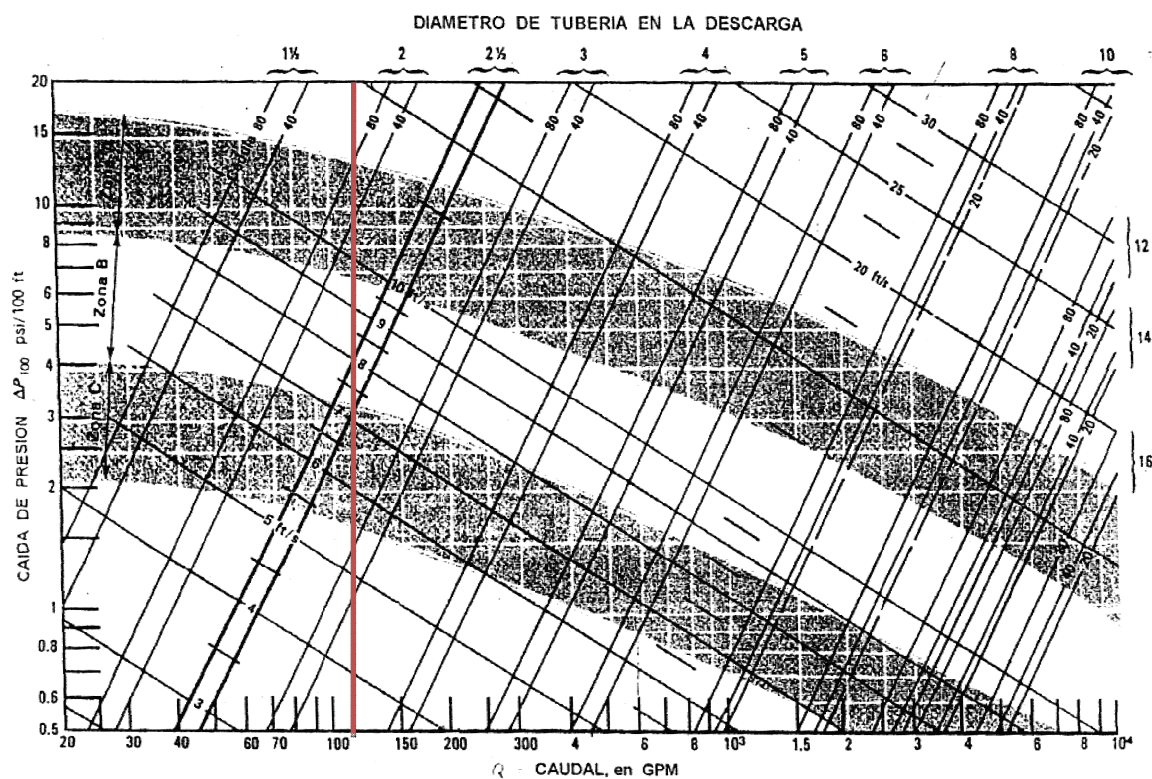


Figura 3.38 Selección Diámetro de Tubería en la Descarga, alternativa 1. [20]

Con un caudal de 110 GPM existe tres alternativas, de 2'', 2.5'' y 3''.

Se selecciona el diámetro de 3'' porque a mayor diámetro menores pérdidas y la velocidad de flujo es menor, con lo que se disminuye el desgaste por erosión de la tubería.

Los datos de la tubería seleccionada son los siguientes:

- Material: Acero A-53 Gr. B
- Diámetro nominal: 3''

- Diámetro interior: 73.66 mm.
- Espesor: 7.62 mm.

Hay que aclarar que el tramo de la tubería de descarga de 3'' de acero A-53 Gr. B tiene una longitud de 300 m y el resto se instalará de tubería PVC de diámetro nominal de 75 mm, con una longitud de 420 m hasta llegar al tanque de almacenamiento.

3.4.3.2 Cálculo de la altura útil o efectiva (TDH) [21]

a) Cálculo de la cabeza o columna dinámica de succión

Según la ecuación (3.142) se determina la cabeza dinámica de succión.[21]

$$h_s = h_{es} + h_{vs} + H_{rs} \pm H_{pms} \quad (3.140)$$

Donde:

h_{es} : Altura estática de succión, l [m]

h_{vs} : Altura o columna de velocidad en la succión, [m]

h_{rs} : Altura debida a las pérdidas totales en la succión, [m]

H_{pms} : Altura de presión manométrica en la succión, [m]

b) Cálculo de la cabeza o columna de velocidad en la succión:[21]

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,007 \frac{m^3}{s}}{0,00741 m^2} = 0.944 \frac{m}{s}$$

Según la ecuación (3.141) se calcula:

$$h_{vs} = \frac{v^2}{2g} \quad (3.141)$$

$$h_{vs} = \frac{\left(0.944 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,81} = 0.045 m$$

c) Pérdidas de energía primarias y secundarias en la succión:[21]

En el caso de la succión de la bomba del presente proyecto, se tiene una tubería de

Ø 4'', por lo tanto la pérdida primaria se obtienen de la siguiente manera:

$$H_{rs} = \left(\frac{\lambda_{\phi 4} L_{\phi 4}}{D_{\phi 4}} + \Sigma K_{\phi 4} \right) * \frac{V_{\phi 4}^2}{2g} \quad (3.142)$$

d) Detalle de coeficiente de pérdidas por accesorios

Tabla 3.43 DETALLE DE ACCESORIOS DE LA TUBERÍA DE 4'',¹⁷

Accesorio	k	Cantidad	Subtotal
Codos de 90°	0.042	1	0.042
$\Sigma k_{\phi 4}$			0.042

En la Tabla 3.44 se resumen las variables para el cálculo de Pérdidas de energía primarias y secundarias en la succión:

Tabla 3.44 RESUMEN DE VARIABLES DE LA SUCCIÓN

	Ø4"
D [m]	0.09718
A_T [m²]	0.007417
V [m/s]	0.9437
Re	70116.8673
K/D	0.00029855
λ	0.02133
L [m]	2
Σk	0.042

Cálculo de H_{rs} según la ecuación (3.142):

¹⁷ Anexo 3.6

$$H_{rs} = \left(\frac{(0.02133)(4)}{0.09718} + 0.042 \right) * \frac{(0.944)^2}{2(9.8)}$$

$$H_{rs} = 0.002 \text{ m}$$

Cálculo de la columna dinámica de succión, según la ecuación (3.140).

$$h_s = 1 + 0.045 + 0.002 = 1.047 \text{ m}$$

e) Cabeza o columna dinámica en la descarga. [21]

$$h_d = h_{ed} + h_{vd} + H_{rd} \pm H_{pmd} \quad (3.143)$$

Donde:

h_{ed} : Cabeza o Columna estática en la descarga, 250 [m]

h_{vd} : Altura o columna de velocidad en la succión, [m]

h_{rd} : Altura debida a las pérdidas totales en la succión, [m]

H_{pmd} : Altura de presión manométrica en la descarga, [m]

f) Cálculo de la cabeza o columna de velocidad en la descarga. [21]

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,007 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,0043 \text{m}^2} = 1.64 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Según la ecuación (3.144)se calcula:[21]

$$h_{vd} = \frac{v^2}{2g} \quad (3.144)$$

$$h_{vd} = \frac{(1.64)^2}{2(9.8)} = 0.137 \text{ [m]}$$

g) Cálculo de las pérdidas de energía primaria y secundaria en la descarga.

En la tubería de descarga se tienen dos tuberías en serie del mismo diámetro pero de diferente material la primera de Ø 3'' de Acero A-53 Gr. B Sch 40 , la segunda de Ø 75mm de PVC.

$$H_{rs} = H_{rs \text{ } \emptyset 3(\text{Acero})} + H_{rs \text{ } \emptyset 75(\text{PVC})} \quad (3.145)$$

$$H_{rs} = \left(\frac{\lambda_{\emptyset 3(\text{Acero})} L_{\emptyset 3(\text{Acero})}}{D_{\emptyset 3(\text{Acero})}} + \Sigma K_{\emptyset 3(\text{Acero})} \right) * \frac{V_{\emptyset 3(\text{Acero})}^2}{2g} + \left(\frac{\lambda_{\emptyset 75(\text{PVC})} L_{\emptyset 75(\text{PVC})}}{D_{\emptyset 75(\text{PVC})}} + \Sigma K_{\emptyset 75(\text{PVC})} \right) * \frac{V_{\emptyset 75(\text{PVC})}^2}{2g}$$

h) Detalle de pérdidas por accesorios:

Para la tubería de descarga de 3" de Acero A-53 Gr. B Sch 40

Tabla 3.45 DETALLE DE ACCESORIOS DE LA TUBERÍA DE 3" DE ACERO.¹⁸

Accesorio	k	Cantidad	Subtotal
Codos de 15°	0.062	2	0.124
Codo de 45°	0.32	2	0.64
Codo de 60°	0.684	1	0.684
Uniones Bridadas	0.15	8	1.2
Válvula check	1.7	2	3.4
Válvula de control de flujo	0.2	1	0.2
$\sum k_{04(acero)}$			6.35

Para la tubería de descarga de 75 mm de PVC.

Tabla 3.46 DETALLE DE ACCESORIOS DE LA TUBERÍA DE 75MM DE PVC.¹⁹

Accesorio	k	Cantidad	Subtotal
Codos de 15°	0.062	6	0.372
Codos de 30°	0.048	3	0.144
Acople de tubería	0.35	1	0.35
Entrada tanque	1	1	0.684
$\sum k_{04(PVC)}$			1.55

En la Tabla 3.47 se resumen las variables para el cálculo de las pérdidas en la succión.

¹⁸ Anexo 3.6

¹⁹ Anexo 3.6

Tabla 3.47 RESUMEN DE VARIABLES DE LA DESCARGA

	Ø 3" A-53 Gr. B	Ø 75mmPVC
D [m]	0.07366	0.072
A_T[m²]	0.00426	0.00407
V [m/s]	1.6426	1.7192
Re	92505.52	94638.29
K/D	0.00044983	0.01998
λ	0.02113	0.01819
L [m]	300	420
Σk	6.35	1.55

Según la ecuación (3.145) se calcula:

$$H_{rd} = \left(\frac{(0.02113)(300)}{0.07366} + 6.35 \right) * \frac{(1.642)^2}{2(9.8)} + \left(\frac{(0.0182) * 420}{0.072} + 1.55 \right) * \frac{(1.719)^2}{2(9.8)}$$

$$H_{rd} = 17.15 \text{ m}$$

Cálculo de la columna dinámica de descarga, según la ecuación (3.143).

$$h_d = 250 + 0.137 + 17.15 = 267.28 \text{ m}$$

Según la ecuación (3.139) de la altura útil o efectiva se obtiene:

$$H = 1.047 + 267.28 = 268.327 \text{ m}$$

3.4.3.3 Cálculo de la cabeza neta de succión positiva (NPSH)_d [4]

a) Cálculo de la presión barométrica [4]

$$\frac{P_b}{\gamma} = \frac{72746.82 \text{ Pa.}}{(9.8 \text{ m/s}^2 * 999.085 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})} = 7.430 \text{ m}$$

b) Cálculo de la presión de vapor del líquido bombeado a la temperatura de bombeo[4]

$$\frac{P_v}{\gamma} = \frac{1723.69 \text{ Pa.}}{(9.8 \text{ m/s}^2 * 999.085 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})} = 0.176 \text{ m}$$

Según la ecuación (3.150) se tiene:

$$\text{NPSH})_d = 7.430 - 1 - 0.002 - 0.176 = 6.25$$

3.4.3.4 Selección de la bomba hidráulica utilizando el catálogo de Bombas SAER ELECTROPOMPE[22]

Utilizando el Catálogo de Bombas SAER ELECTROPOMPE, se requiere seleccionar un modelo de Bomba Hidráulica que cumpla con las siguientes condiciones de operación:

- Tipo de Líquido = Agua
- Temperatura = 15 °C
- Caudal de Bombeo = $Q = 7 \frac{\text{lt}}{\text{s}} = 110 \text{ GPM}$
- Altura útil efectiva = $H = 268.327 \text{ m}$

En donde seleccionamos el tipo de bomba en función del caudal y altura a bombear en la siguiente Tabla 3.48:

Tabla 3.48 SELECCIÓN DE BOMBA MULTIETAPA SAER ELECTROPOMPE. [22]

6MK65				CARATTERISTICHE IDRAULICHE HYDRAULIC FEATURES • CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ • CARACTERISTICAS HIDRAULICAS										Hz 60	
Tipo Type Тип	P _i		220V 3~ In (A)	U.S.g.p.m. Q m ³ /h l/min	0	44	66	88	110	132	154	176	198		
	kW	HP			0	10	15	20	25	30	35	40	45		
6MK65/2	7,5	10	11,5	H [m]	77	71	67	63	57	51	43	34	24		
6MK65/3	11	15	19,2		115	106	100	94	85	76	64	52	36		
6MK65/4	15	20	23,5		154	142	134	126	114	102	86	68	48		
6MK65/5	18,5	25	27,8		192,5	177,5	167,5	157,5	142,5	127,5	107,5	85	60		
6MK65/6	22	30	35,6		231	213	201	189	1771	153	129	102	72		
6MK65/7	26	35	40,2		269,5	248,5	234,5	220,5	199,5	178,5	150,5	119	84		
6MK65/8	30	40	44,2		308	284	268	252	228	204	172	136	96		
6MK65/9	30	40	47,5		346	319	301	283	256	229	193	153	108		
6MK65/10	37	50	57,2		385	355	335	315	285	255	215	170	120		

De acuerdo al Diagrama de Selección de Bombas SAER electropompe, el caudal a bombear sería de 110 GPM, y la altura de 285 m de cabeza, determinamos la bomba 6MK65/10.

a) Determinación del punto de funcionamiento de la bomba 6MK65/10:

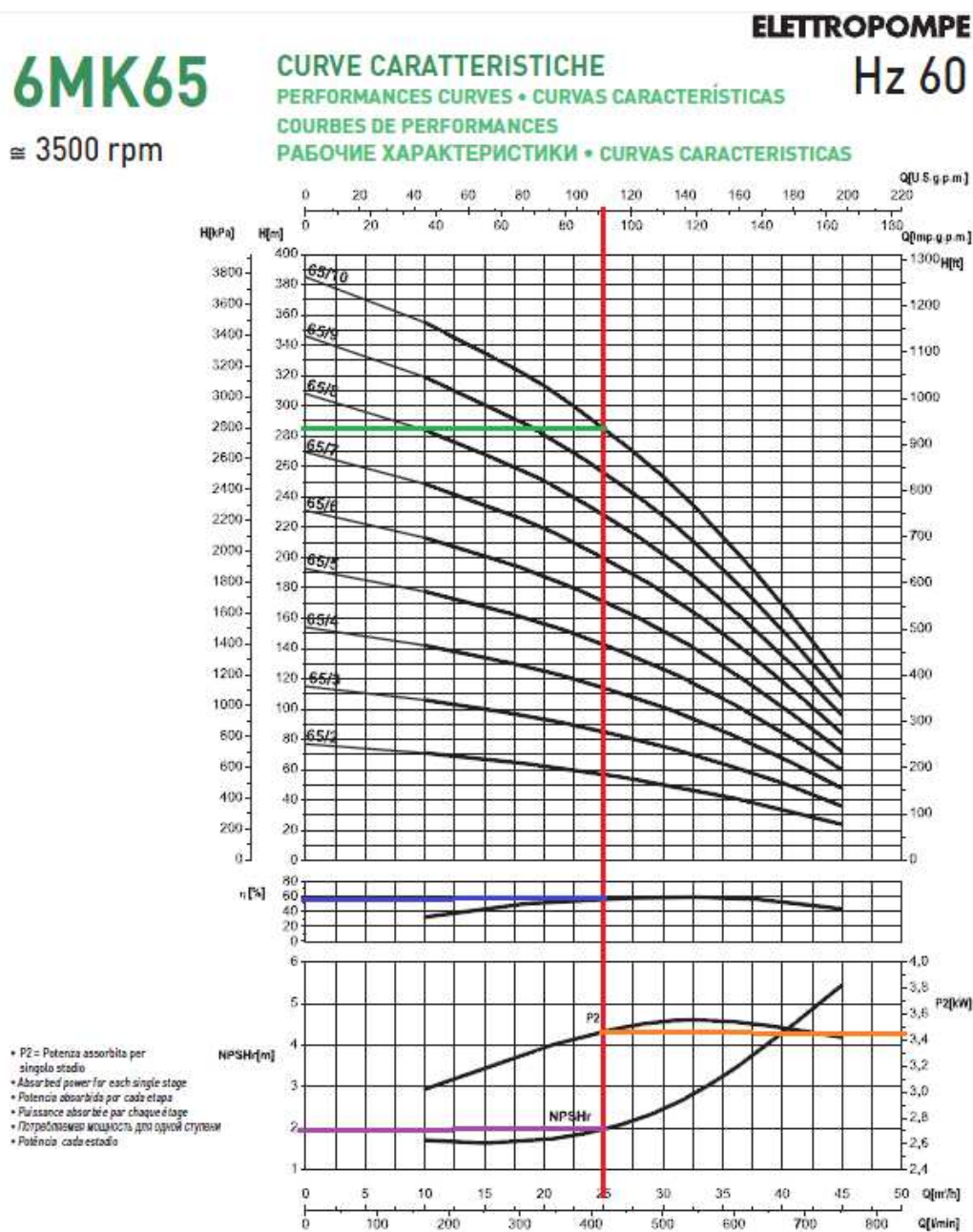


Figura 3.39 Curva del fabricante- Bomba SAER electropompe 6MK65/10.

La bomba seleccionada SAER electropompe 6MK65/10 tiene las siguientes características:²⁰

²⁰ Anexo 3.14

- Tipo = Multietapa
- Familia = 6MK65/10
- Velocidad = 3500 RPM
- Número de etapas = 4 etapas
- $NPSH)_r = 2 \text{ m}$
- Eficiencia = 59%
- Potencia Nominal = 3.5 KW
- Potencia del Motor Eléctrico = 50 Hp
- Diámetro del Impeler = 360 mm
- Código del Material según API 650 = M4
- Material del Casing = Acero al Carbono
- Material del Impeler = Acero Inoxidable
- Material del Eje = Acero al Cromo

El $NPSH)_d$ es de 6.25 m con lo que se verifica que el $NPSH)_d > NPSH)_r$, por lo tanto la bomba adecuada para este sistema.

3.4.3.5 Selección de la bomba hidráulica para la alternativa 2

Para la alternativa 2 se recomienda una bomba de desplazamiento positivo ya que este tipo de bombas impulsan el fluido a grandes cabezas de descarga pero no grandes caudales es por ello que se toma en cuenta lo siguiente:

Parámetros de Selección:

- Tiempo de funcionamiento del sistema de bombeo = 24 Horas al día.
- Caudal de Bombeo = 4 l/s
- El tanque de succión y descarga están abiertos a la atmósfera, por lo tanto la presión en ellos es la atmosférica.
- Elevación Estática de Succión = 1 m.
- Cabeza Estática de Descarga = 250 m.
- Longitud de Tubería de Succión de la bomba = 4 m.
- Longitud de Tubería de Descarga = 720 m

Con los parámetros de selección antes mencionados la empresa Bettahidroturbinas cotizó una turbobomba en donde se utilizan dos bombas de desplazamiento positivo en paralelo que impulsan un caudal total de 15000 lt/h o 360.000 lt/día que esto equivale a 4 lt/s.²¹

Para satisfacer el caudal de bombeo de 4 l/s, proponen instalar el equipo de Betta 2x160 como se indica en el siguiente gráfico:



Figura 3.40 Turbobomba Betta Hidroturbinas P500/ 2X160.

3.4.3.5.1 Especificaciones técnicas del equipo de Turbobombeo propuesto por Betta.

a) Bomba Hidráulica:

- Tipo: Desplazamiento Positivo con tres pistones.
- Modelo: Betta 160
- Caudal de Bombeo: 4 l/s
- Presión Máxima de descarga 300 m.c.a.
- Válvula de mariposa de accionamiento manual de emergencia

b) Transmisión: Por bandas multiplicadoras de velocidad.

²¹ Anexo 3.15

c) Costos:

El Valor FOB Santos es de 24,848.00 USD²²

El Valor total ex aduana en Quito es 29,642.24 USD por cada conjunto

Betta 2x160.²³

3.4.3.6 Selección de diámetros nominales adecuados para succión y descarga de la bomba

En la turbobomba de Betta están instaladas dos bombas de desplazamiento positivo en la que cada una bombea un caudal de 2lt/s.

$$Q_b = 2 \frac{\text{lt}}{\text{s}}$$

$$Q_b = 2 \frac{\text{lt}}{\text{s}} * \frac{1\text{Gal}}{3.785 \text{ lt}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 31.70 \text{ GPM}$$

Para seleccionar los diámetros adecuados para la succión y descarga de la bomba utilizamos el diagrama de las Figuras 3.37 y Figura 3.38 respectivamente.

²² Anexo 3.10

²³ Anexo 3.11

a) Selección del diámetro de succión de la alternativa 2:

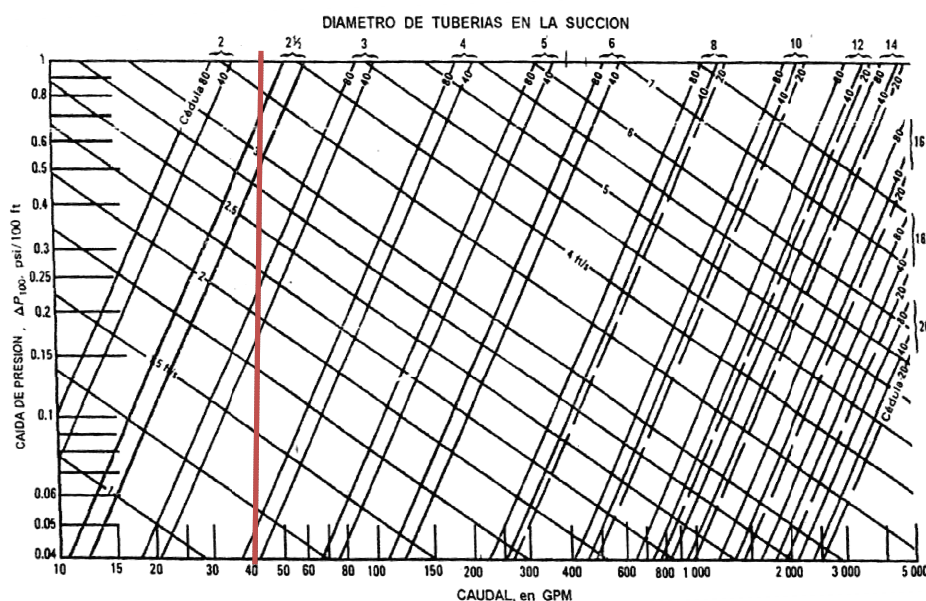


Figura 3.41 Selección del diámetro de succión de la Alternativa 2. [20]

Con un caudal de 31.70 GPM en la succión existe dos alternativas, 2.5" y 3".

Se selecciona el diámetro de 2.5" porque es la medida que hay en el mercado local.

Los datos de la tubería seleccionada según el catálogo de PLASTIGAMA son los siguientes:²⁴

- Material: Polietileno o Flex
- Diámetro nominal: 2.5"
- Diámetro exterior: 63 mm.
- Espesor: 7 mm.

La tubería de 2.5" en la succión es de apenas 4m porque las bombas succionan el agua desde un tanque ubicado a continuación del canal de desfogue de la turbina. Es decir que el agua bombeada es la misma que se utiliza para mover la turbina hidráulica.

²⁴ Anexo 4.8

b) Selección del diámetro de descarga de la alternativa 2:

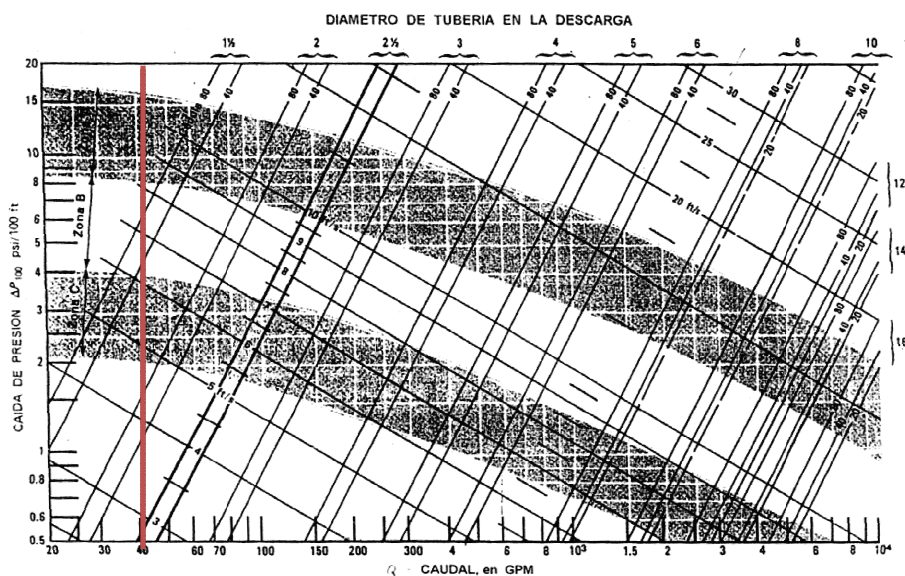


Figura 3.42 Selección del Diámetro de Tubería en la Descarga de la Alternativa 2. [20]

Con un caudal de 2lt/s o 31.70 GPM existe dos alternativas, de 1.5'' y 2''.

Se selecciona el diámetro de 2'' porque presenta menores pérdidas.

Los datos de la tubería seleccionada según el catálogo DIPAC son los siguientes:

Ver Anexo 3.2

- Material: Acero A-53 Gr. B
- Diámetro nominal: 2''
- Diámetro exterior: 60.30 mm.
- Espesor: 5.54 mm.

Luego la tubería de descarga de cada bomba se une a través de una Y, para bombear a través de una sola tubería, con lo cual se selecciona para un caudal de 4 lt/s a una tubería de 3'' de acero durante una distancia de 300m de longitud para luego cambiar de material de la tubería a PVC con el mismo diámetro con el fin de reducir costos y buena calidad de conducción de agua.

Con los parámetros del sistema de tuberías de descarga analizados anteriormente se separan en tres tramos los cuales se especifican en la siguiente TABLA 3.49:

Tabla 3.49 DATOS DE LOS DIÁMETROS DE LA TUBERÍA DE DESCARGA.²⁵

Tramo	Diámetro Nominal (in)	Longitud de Tubería (m)	Material:	Diámetro exterior (mm)	Espesor(mm)
1	2	4	Acero A-53 Gr. B	60.30	5.54
2	3	300	Acero A-53 Gr. B	88.9	7.62
3	75 mm	420	PVC	75	1.5

3.4.3.6.1 Cálculo de la altura útil o efectiva (TDH). [21]

a) Cálculo de la cabeza o columna de velocidad en la succión:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,002 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,0043 \text{m}^2} = 1.643 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Según la ecuación (3.141) se calcula:

$$h_{vs} = \frac{\left(1.643 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,81} = 0.1376 \text{m}$$

b) Cálculo de las Pérdidas de energía primaria y secundaria en la succión:

Cálculo de coeficiente de pérdidas por accesorios se presenta en la Tabla 3.50:

²⁵ Anexos 3.2 y 3.1

Tabla 3.50 DETALLE DE ACCESORIOS DE LA TUBERÍA DE SUCCIÓN 3'',²⁶

Accesorio	k	Cantidad	Subtotal
Codos de 90°	0.062	1	0.062
Uniones Bridadas	0.15	2	0.3
Σk			0.362

En la presente Tabla 3.51 se resumen las variables para el cálculo de Pérdidas de energía primaria y secundaria en la succión:

Tabla 3.51 RESUMEN DE VARIABLES DE LA SUCCIÓN

	Ø3"
D [m]	0.07366
A_T [m²]	0.00426
V [m/s]	1.6426
Re	92505.25
K/D	0.00040
λ	0.021132
L [m]	4
Σk	0.362

El cálculo de H_{rs} se realiza según la ecuación (3.142):

$$H_{rs} = \left(\frac{(0.02113) * 4}{0.07366} + 0.362 \right) * \frac{(1.6426)^2}{2(9.8)}$$

$$H_{rs} = 0.208 \text{ m}$$

Cálculo de la columna dinámica de succión según la ecuación (3.141).

$$h_s = 2 + 0.1376 + 0.208 = 2,3453 \text{ m}$$

²⁶ Anexo 3.2

c) Cálculo de la cabeza o columna de velocidad en la descarga. [21]

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,002 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,0019 \text{ m}^2} = 3,679 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Según la ecuación (3.143) se calcula:[21]

$$h_{vd} = \frac{(3,679)^2}{2(9,8)} = 0,691 \text{ [m]}$$

d) Pérdidas de energía primaria y secundaria en la descarga.

En la tubería de descarga, se instalará cuatro tuberías en serie, por lo que se suman las pérdidas de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$H_{rd} = H_{rd \, \emptyset 2,5(\text{Acero})} + H_{rd \, \emptyset 3(\text{Acero})} + H_{rd \, \emptyset 90 \text{ (PVC)}} \quad (3.146)$$

$$\begin{aligned} H_{rd} = & \left(\frac{\lambda_{\emptyset 2,5(\text{Acero})} L_{\emptyset 2,5(\text{Acero})}}{D_{\emptyset 2,5(\text{Acero})}} + \Sigma K_{\emptyset 2,5(\text{Acero})} \right) * \frac{V_{\emptyset 2,5}^2}{2g} \\ & + \left(\frac{\lambda_{\emptyset 3(\text{Acero})} L_{\emptyset 3(\text{Acero})}}{D_{\emptyset 3(\text{Acero})}} + \Sigma K_{\emptyset 3(\text{Acero})} \right) * \frac{V_{\emptyset 3}^2}{2g} \\ & + \left(\frac{\lambda_{\emptyset 3 \text{ (PVC)}} L_{\emptyset 3 \text{ (PVC)}}}{D_{\emptyset 3 \text{ (PVC)}}} + \Sigma K_{\emptyset 3 \text{ (PVC)}} \right) * \frac{V_{\emptyset 3 \text{ (PVC)}}^2}{2g} \end{aligned}$$

e) Detalle de pérdidas por accesorios

Para la tubería de descarga de 2" de Acero A-53 Gr. B Sch 40 en el Tramo 1.

Tabla 3.52DETALLE DE ACCESORIOS DE LA TUBERÍA DE 2’’ DE ACERO²⁷

Accesorio	k	Cantidad	Subtotal
Codo de 45°	0.32	1	0.32
Uniones Bridadas	0.15	2	0.3
Válvula check	2.5	1	2.5
Válvula de Control de Flujo	0.19	1	0.19
$\Sigma k \text{ Ø}2''$			3.31

Para la tubería de descarga de 3’’ de Acero A-53 Gr. B Sch 40 en el Tramo 2:

Tabla 3.53DETALLE DE ACCESORIOS DE LA TUBERÍA DE 3’’ DE ACERO²⁸

Accesorio	k	Cantidad	Subtotal
Bifurcación	0.07	1	0.07
Codo de 45°	0.32	1	0.32
Uniones Bridadas	0.15	2	0.3
Válvula de Control de Flujo	0.19	1	0.32
$\Sigma k \text{ Ø}3''$			1.01

Para la tubería de descarga de 90 mm de PVC en el Tramo 3:

Tabla 3.54DETALLE DE ACCESORIOS DE LA TUBERIA DE 90 MM DE PVC.²⁹

Accesorio	k	Cantidad	Subtotal
Codos de 15°	0.062	4	0.186
Acople de tubería	0.35	1	0.32
Entrada tanque	1	1	0.684
$\Sigma k \text{ Ø }90\text{mm}$			1.38

²⁷ Anexo 3.6

²⁸ Anexo 3.6

²⁹ Anexo 3.6

En la Tabla 3.55 se resumen las variables a considerar para el cálculo de las pérdidas en la succión:

Tabla 3.55 RESUMEN DE VARIABLES DE LA DESCARGA

	Ø 2" A-53 Gr. B	Ø 3" A-53 Gr. B	Ø 90PVC
D [m]	0.04922	0.07366	0.072
A_T [m²]	0.0019	0.00426	0.00407
V [m/s]	3.6789	1.642	1.7192
Re	138438.78	9205.52	94638.29
K/D	0.00073389	0.00059035	0.00043977
λ	0.02148	0.02113	0.01819
L [m]	4	300	420
Σk	3.31	1.01	1.38

Sustituyendo los valores antes calculados en la ecuación (3.146) se obtiene:

$$H_{rd} = \left(\frac{(0.02148)(4)}{0.04922} + 3.31 \right) * \frac{(3.6789)^2}{2(9.8)} + \left(\frac{(0.02113) * (300)}{0.07366} + 1.01 \right) * \frac{(1.642)^2}{2(9.8)} + \left(\frac{(0.01819) * 420}{0.072} + 1.38 \right) * \frac{(1.7192)^2}{2(9.8)}$$

$$H_{rd} = 3.491 + 12.079 + 16.07 = 31.642 \text{ m}$$

Calculo la columna dinámica de descarga, según la ecuación (3.147).

$$h_d = 250 + 31.642 + 0.691 = 282.33 \text{ m}$$

Según la ecuación (3.139) de la altura útil o efectiva es:

$$H = 2.3453 + 282.33 = 284.67 \text{ m}$$

La altura útil o efectiva obtenida para el sistema es de 284.67 m, la cual es menor al valor de presión en la descarga que proporciona la bomba de Betta hidroturbina (300 m), por lo que satisface los requerimientos del sistema.

3.4.3.6.2 Selección del tipo de Bomba

Con el caudal de 31.11 GPM o 2 lt/s y una altura total efectiva de 284.67m o 933.74 ft seleccionamos la bomba adecuada para este sistema, con lo cual podemos obtener un rendimiento óptimo de la misma.

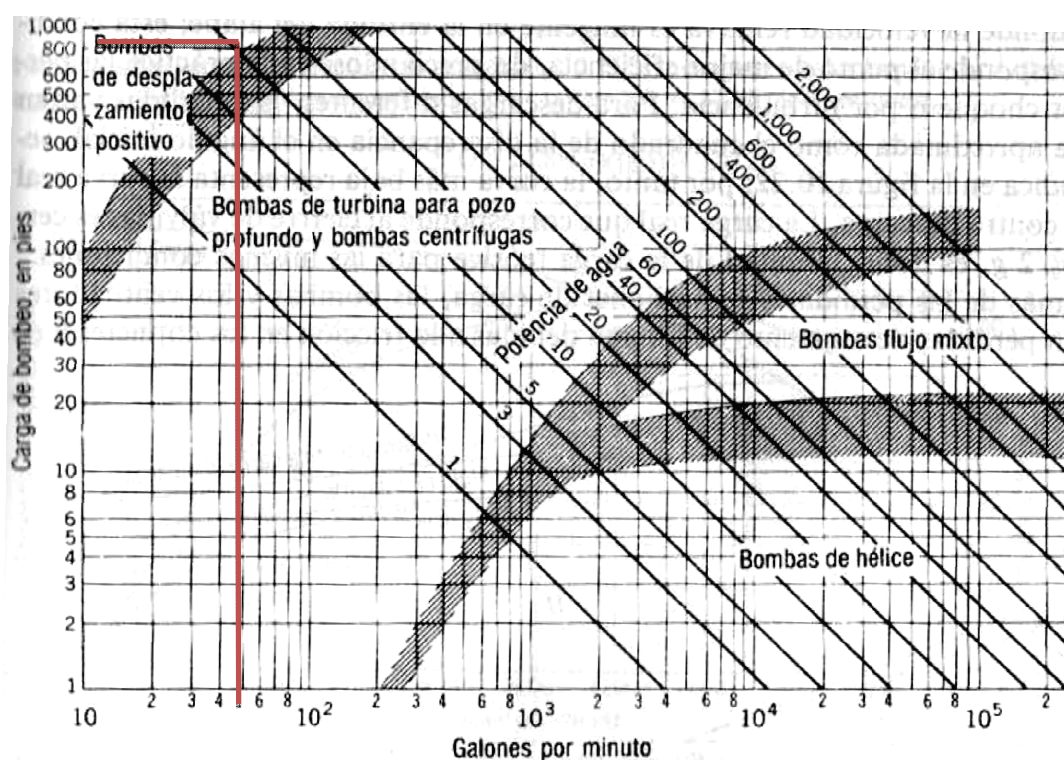


Figura 3.43Diagrama para la selección de Tipo de Bomba. [33]

Según lo que indica la Figura 3.43, la bomba adecuada para los parámetros de altura total efectiva y caudal es una Tipo de Desplazamiento positivo, con lo cual se justifica la selección realizada por la empresa Betta Hidroturbinas.

3.4.3.6.3 Verificación de la velocidad de la bomba [31]

La velocidad de rotación de la bomba Betta 160 es de 500 rpm la cual se encuentra dentro del rango permitido para bombas de desplazamiento positivo de 550 a 600 rpm.³⁰

3.4.3.7 Costos totales de cada alternativa de diseño del equipo de turbobombeo.

3.4.3.7.1 Costo total de la alternativa 1:³¹

• Microcentral Betta P500/49Kw + Accesorios:	39.882,30 USD
• Bomba SAER electropompe 6MK65/10:	11.500,00 USD
COSTO TOTAL:	51.382,30 USD

3.4.3.7.2 Costo total de la alternativa 2:³²

• 1 Turbobomba Betta P500/2x160 + Accesorios:	29.642,24 USD
COSTO TOTAL:	29.642,24 USD

3.4.3.8 Análisis y selección de alternativa más adecuada para el turbobombeo

Para determinar la selección de la alternativa más adecuada, se realiza un análisis de instalación, mantenimiento, operación y costo lo cual se detalla en la siguiente Tabla 3.56:

³⁰Viejo Zubicaray en el texto Bombas Teoría, Diseño y Aplicación, pág. 134

³¹ Anexo 3.9

³² Anexo 3.11

Tabla 3.56 TABLA DE ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE TURBOBOMBEO

	INSTALACIÓN	MANTENIMIENTO	OPERACIÓN	COSTO
ALTERNATIVA 1	Su instalación es compleja, por tener equipos electromecánicos, que requieren la utilización de más de una persona especializada para montar y poner en marcha el sistema.	Se realiza en períodos cortos de tiempo, se tiene elementos eléctricos y electrónicos que demandan la intervención de personal técnico especializado en dichos equipos por lo tanto el costo de mantenimiento es alto. El costo de recambio de los equipos es elevado.	Es más complicado porque demanda del control y verificación continua de muchas variables como voltaje, frecuencia, variaciones de carga y velocidad de embalamiento.	Su costo es aproximadamente el doble de costo que el de la alternativa 2.
ALTERNATIVA 2	El sistema, es mecánico, y poco complejo. Además el equipo es de un mismo fabricante y se aplica la garantía para todos los equipos.	Se realiza en largos períodos de tiempo, y las actividades de mantenimiento continuo se basa en la lubricación. No necesita de gente especializada, por lo tanto el costo relativo es menor.	Es más sencillo porque no consta de equipos eléctricos, su funcionamiento es mecánico y demanda únicamente del control de la velocidad de la turbina.	Costo relativo de equipos es menor que la alternativa 1.

Al realizar el análisis de cada una de las alternativas sobre mantenimiento, instalación, operación y costo de los equipo se determina que la mejor propuesta para este tipo de proyecto es la segunda alternativa.

De igual modo en el Anexo 3.17 se determina la forma del tanque de asentamiento para la turbo-bomba de Betta.

3.4.3.9 Tubería de descarga

Esta tubería conduce el agua que es impulsada por la bomba hacia el tanque de almacenamiento, en una diferencia de alturas de 250m, con un caudal de $0.004 \text{ m}^3/\text{s}$, y una longitud de la tubería de 720m.

Las pérdidas en la tubería de descarga son de 31.642 m las cuales fueron calculadas anteriormente.

Se seleccionó el diámetro de 3" de acuerdo a la Figura 54 anteriormente analizada. En donde se debe mencionar que la tubería de descarga se divide en dos clases de materiales, la primera de Acero A-53 Gr. B la cual transporta el agua desde la bomba hasta un punto cuya localización refiere al punto que se encuentra pasando el camino de carros y maquinaria agrícola de la loma de San Francisco de Cunuguachay, con una longitud de 300m, esta tubería es enterrada, por lo que no requiere de apoyos ni anclajes, van totalmente enterradas.

Desde el dicho punto hasta el tanque de almacenamiento se instala tubería de PVC, la cual es enterrada por lo que no requiere apoyos ni anclajes.

3.4.3.9.1 Dimensionamiento de excavaciones para las tuberías de descarga de acero Ø3" y 75 mm de PVC

Los trabajos comprenden la ejecución de las excavaciones y su relleno, así como también la realización de todas las obras auxiliares. Las tuberías de conducción de agua deben ser asentadas a una profundidad mínima capaz de asegurar su protección contra cargas accidentales, choques, efectos de temperatura, etc. El ancho mínimo de las zanjas iguala al diámetro del tubo aumentado en 2 pies (0.60 m), y el recubrimiento mínimo debe ser de 0.60 m para tubos de hierro fundido y 0.80 m para tubos de asbesto – cemento o plástico (PVC).

Por lo tanto tenemos las siguientes dimensiones:

- Profundidad (H) = 0.80 m
- Ancho (B) = $D + 0.60 \text{ m} = 0.075 + 0.60 = 0.675 \text{ m}$
- Base de la tubería = $0.7 \times D = 0.7 \times 0.075 \text{ m} = 0.0525 \text{ m}$

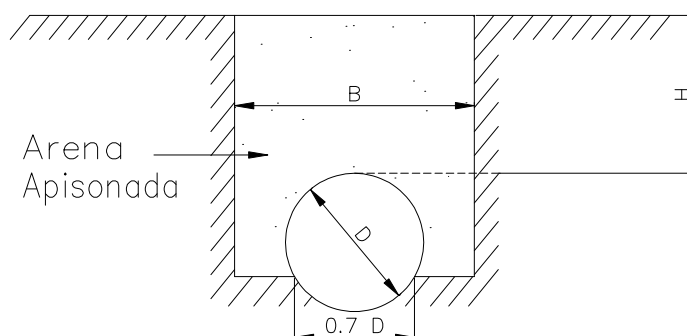


Figura 3.44 Dimensionamiento de las Zanjas.

3.4.3.10 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento

Ahora es de vital importancia el diseño del tanque de almacenamiento del agua que se va a bombear donde la selección del sitio donde va ir construido será clave.

3.4.3.10.1 Aspectos constructivos del tanque de almacenamiento. [23]

- **Ubicación:** El tanque estará ubicado a una altura de 3612 msnm, 250 metros más alto del nivel de la casa de máquinas, agua que será distribuida para las diferentes parcelas cercanas.
- **Forma:** Se adoptó una forma cuadrangular en forma de cono truncado de hormigón para una larga duración de utilidad y facilidad para el mantenimiento. Las paredes del tanque (taludes) tienen una inclinación de 73° con el fin de redistribuir las cargas por presión del agua sobre las paredes.
- **Entrada de Agua:** El agua ingresa por medio de una tubería de PVC de diámetro de 90mm, por encima del tanque de almacenamiento sobre un muro de contención.
- **Tanque de hormigón:** Para una mayor durabilidad del proyecto es por ello que se diseñó un tanque de hormigón armado en el que los planos civiles se encuentran en el Plano “Tanque de almacenamiento”, con vertedero de excesos y salida de fondo.

La tubería de salida estará empotrada en un muro de contención que se debe construir para reforzar el talud.

3.4.3.10.2 Tamaño y capacidad

Las dimensiones del tanque son 14.5 m de ancho x 14.5 m de largo y en la base, 12.5 m de ancho x 12.5 m de largo en la parte superior del talud y una altura de 2m, con un volumen de 366.5 m³.

Para encontrar estas dimensiones se parte del caudal disponible de 15.000 L/h o 360.000 L/día que proveerá la bomba.

Se determina un tiempo de almacenamiento de 1 día para el cálculo del volumen. Los cálculos se detallan a continuación:

Datos:

$$Q = 360.000 \text{ l/día} = 360 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$T = 1 \text{ día}$$

$$\text{Volumen tanque} = Q_b * t \quad (3.154)$$

Donde:

Q_b = Caudal disponible entregado por la bomba, [m³/día].

t = tiempo de almacenamiento, [día].

Reemplazando los valores se tiene:

$$\text{Volumen tanque} = 360 \text{ m}^3/\text{día} \times 1 \text{ día} = 360 \text{ m}^3$$

3.4.3.10.3 Dimensionamiento del tanque reservorio [23]

Dimensiones del reservorio:

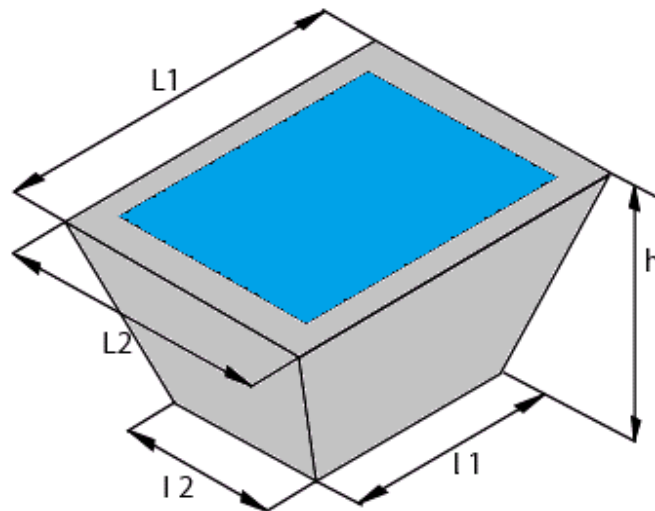


Figura 3.45 Tanque Reservorio.

Debido a las condiciones geográficas del lugar la relación $L_2/L_1 = 1$, $h = 2$ m, $P = 0.5$ y $V_t = 360$ m³.

$$L_1 = \frac{\left(1 + \frac{L_2}{L_1}\right) \times h \times P + \sqrt{\left[\left(1 + \frac{L_2}{L_1}\right) \times h \times P\right]^2 - 4 \times \left(\frac{L_2}{L_1}\right) \times \left[2 \times (h \times P)^2 - \left(\frac{V_t}{h}\right)\right]}}{2 \times \left(\frac{L_2}{L_1}\right)} \quad (3.155)$$

$$L_1 = \frac{(1+1) \times 2 \times 0.5 + \sqrt{[(1+1)2 \times 0.5]^2 - 4 \times 1 \times [2 \times (2 \times 0.5)^2 - \left(\frac{160}{2}\right)]}}{2 \times 1}$$

$$L_1 = 9.89 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$$

Ajustando $L_1 = 14.5$ m

$$L_2 = 1 \times L_1$$

$$L_2 = 1 \times 14.5 = 14.5 \text{ m}$$

$$I_1 = L_1 - 2 \times h \times P \quad (3.156)$$

$$I_1 = 14.5 - 2 \times 2 \times 0.5 = 12.5 \text{ m}$$

$$I_1 = 12.5 \text{ m}$$

$$I_2 = L_2 - 2 \times h \times P \quad (3.157)$$

$$I_2 = 14 - 2 \times 2 \times 0.5 = 12.5 \text{ m}$$

$$I_2 = 12.5 \text{ m}$$

$$V_d = \frac{(L_1 \times L_2 + I_1 \times I_2) \times h}{2} \quad (3.158)$$

$$V_d = \frac{(14.5 \times 14.5 + 12.5 \times 12.5) \times 2}{2} = 366.5 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{requerido}} < V_{\text{disponible}}$$

$$360 < 366.5 \text{ [m}^3\text{]}$$

3.4.4 Manual de operación y mantenimiento del Sistema de Turbobombeo

3.4.4.1 Manual de operación del sistema de turbobombeo [3]

El sistema de Turbo de Turbo-bombeo funcionará las 24 horas del día, salvo en lapsos de mantenimiento o parada por algún imprevisto. Para realizar la puesta en marcha de este sistema es necesario seguir los siguientes pasos:

3.4.4.2 Obras civiles [3]

a) Antes de la hperación:

Las precauciones que se deben tener antes de la operación del sistema son:

- Coordinar con los responsables y encargados del Sistema, las operaciones que se van a realizar.
- Verificar que la tubería de presión, la rejilla y las compuertas de la cámara de carga no estén obstruidas.
- Revisar que la válvula de admisión principal situada entre la tubería de presión y la turbina esté cerrada.
- Verificar que la tubería de presión esté llena y no presente fugas y que el canal de descarga debe estar libre de toda obstrucción.
- Jamás utilizar reductores excéntricos en la entrada de la turbina. Utilice apenas reductores concéntricos para un pleno rendimiento del equipo.



Figura 3.46Tipos de reductores [36]

- Asegurar que el suministro de agua desde la bocatoma hasta la cámara de carga esté disponible.

b) Durante la operación:

Las precauciones que se debe tener en cuenta durante la operación del sistema son:

- El agua no debe bajar de nivel, por lo tanto observar el manómetro instalado en la tubería de presión.
- Limpiar la rejilla de ingreso a la cámara de carga.
- Observar que no exista fugas de agua por los diferentes componentes del sistema.
- Maniobrar la válvula solo cuando sea necesario.
- Verificar que la Turbina, Bomba se encuentren funcionando correctamente.

3.4.4.3 Bomba hidráulica. [10]

a) Antes de la operación:

Antes de poner en marcha la bomba, se deben hacer las siguientes revisiones:

- Girar el eje de la bomba a mano para asegurarse que la bomba esté libre y el cigüeñal esté colocado correctamente.
- Asegurarse que la tuerca de ajuste del eje esté bien trabada en posición.
- Comprobar que los pistones estén bien lubricados de acuerdo con las instrucciones suministradas por el fabricante.
- Comprobar que todas conexiones de tuberías estén apretadas.
- Comprobar el apriete de todos los pernos de anclaje.
- El alineamiento de las correas debe ser la adecuada como se ilustra a continuación:

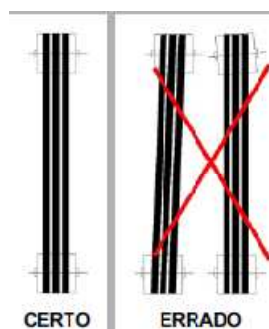


Figura 3.47Tipos de reductores [36]

- De igual modo es indispensable la presión de la correa, no solo por seguridad, más para evitar que su vida útil disminuya y evitando a la vez que la misma patine sobre la polea.

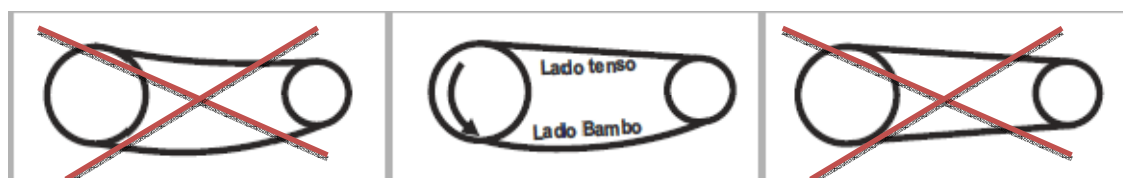


Figura 3.48Tipos de reductores [36]

- En bombas provistas de prensaestopas asegurarse que las tuercas del casquillo estén apretadas a mano solamente – NOapretarlo antes de la puesta en marcha.

b) Puesta en marcha inicial:

Para el arranque inicial de la bomba se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Si la tubería de descarga tiene una válvula, debe estar parcialmente abierta para el arranque inicial.
- Iniciar el flujo de líquido lubricante en las unidades con eje de transmisión encerrado.
- Hacer funcionar la bomba y observar su funcionamiento. Si existiera cualquier ruido o vibración excesiva, o si la bomba pareciera funcionar muy lenta, o no funciona, desconectar la bomba inmediatamente.
- Si la bomba arranca satisfactoriamente, abrir la válvula de descarga según se desea.
- Hacer una revisión completa de la bomba para verificar que no haya fugas, conexiones sueltas, o funcionamiento incorrecto.
- Si es posible, dejar la bomba funcionando por aproximadamente 1/2 hora durante la puesta en marcha inicial. Con ello se permitirá que los cojinetes, prensaestopas, y otras partes "se asienten" y reducirán la posibilidad de problemas en arranques futuros.

NOTA: Si durante la puesta en marcha se encuentran abrasivos o basuras, se debe dejar que la bomba funcione hasta que el bombeo sea limpio. Si se para la bomba mientras está manejando grandes cantidades de abrasivos (algunas veces presentes durante el arranque inicial) se puede bloquear la bomba y causar más daño que si se dejara funcionando.

Se debe hacer todo lo posible por mantener los abrasivos fuera de las tuberías, sumidero, etc., para que así no entren a la bomba.

3.4.4.4 Turbina hidráulica [13]

a) Antes de la operación:

Antes de poner en marcha la turbina, se deben hacer las siguientes revisiones:

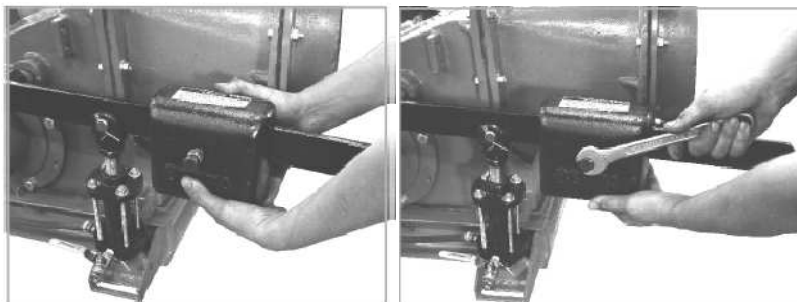
- La tubería de presión debe estar llena de agua garantizando un flujo permanente del caudal requerido desde la obra de toma.
- El equipo mecánico debe estar libre de cualquier objeto o material que no sea parte del mismo.
- Controlar y verificar que todas las partes de la turbina estén muy bien fijadas, sin que existan partes sueltas o desajustadas.
- Hacer girar manualmente rodete de la turbina en sentido de las manecillas del reloj, para verificar que no exista impedimento alguno y que todo el equipo pueda girar libremente.

b) Puesta en marcha inicial:

Para activar la turbina, después de estas simples acciones, se procede a la apertura de la válvula principal, manualmente hasta alcanzar la velocidad necesaria.

c) Parada de turbina

- Posicionar el contrapeso en lo extremo del brazo de accionamiento y ajustarlo con el tornillo.
- Levantar y sostener hasta que el regulador de velocidad durante un tiempo necesario hasta que la base del pistón de seguridad deberá obligatoriamente estar frenando.



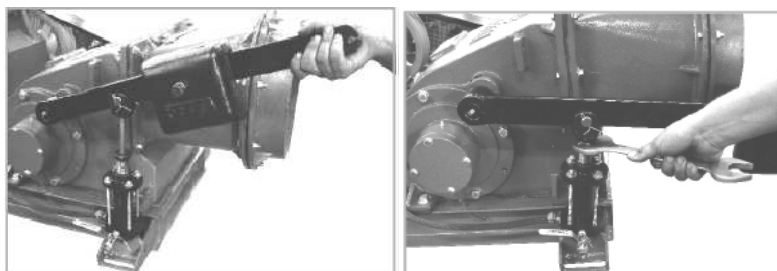


Figura 3.49 La manera de utilizar el regulador de velocidad. [36]

3.4.4.5 Libro de registro [29]

El libro de registros es un documento que debe permanecer en Sistema de Turbobombeo. En él se deben señalar el comportamiento de los equipos, sus parámetros, pero principalmente las ocurrencias diarias como por ejemplo:

- ¿Qué ocurrió?
- ¿A qué hora ocurrió?
- ¿Qué acciones se tomó?
- ¿Quiénes participaron?
- ¿Qué materiales o repuestos se usaron?

En el caso de acciones de mantenimiento, ¿cuándo se debe realizar nuevamente esa actividad?

Esta información tiene importancia al momento de evaluar la ocurrencia de una falla para la toma de una decisión correctiva, y forma parte de la historia de funcionamiento del Sistema de Turbobombeo. De esta forma es posible programar acciones de mantenimiento en el futuro y las precauciones que se debe tener para su ejecución. Asimismo, en el libro de registro deben figurar las horas de funcionamiento diario.

3.4.4.6 Manuales y documentos del fabricante. [29]

Se debe tener los manuales de cada equipo como textos de consulta para solucionar las dudas sobre las consideraciones generales de funcionamiento del equipo cuando suceda alguna falla.

CAPÍTULO IV

4. SISTEMA DE RIEGO POR ASPERCIÓN

4.1.1 Datos generales del proyecto

4.1.1.1 Medición del caudal [25]

El caudal a medir será tomado de la vertiente llamada Pilispugyo de la cual se aprovechara en las parcelas de la comunidad mediante riego por aspersión, está toma no tiene adjudicación en la Secretaria Nacional del Agua (CENAGUA) pero la directiva de la comunidad de San Francisco de Cunuguachay han dispuesto de la utilización durante toda su existencia.

Es recomendable realizar estas mediciones en épocas de estiaje o verano, cuando el caudal es el más bajo para tener el caudal mínimo de diseño y el método utilizado es por el método del recipiente, ya que es muy simple todo el caudal a medir es desviado hacia un balde o barril se toma el tiempo que toma llenarlo.

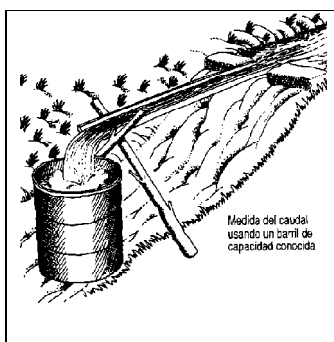


Figura 4.1 Método del recipiente

$$Q = \frac{V}{t} \quad (4.1)$$

Obteniendo los siguientes datos:.

PILISPUGYO

Tabla 4.1 VALORES OBTENIDOS DE LA MEDIDA DEL CAUDAL DE LA TOMA DE PILISPUGYO

Vol.(litros)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tiempo(seg)	3.41	3.04	3.06	3.26	3.98	3.95	4.00	3.00	4.00	4.35	3.86	2.69	3.49	2.88

Obteniendo un promedio de 3.32857143 seg

$$Q = \frac{1lit}{3.3285seg} \quad Q = 0.300 \frac{lit}{s}$$



Figura 4.2 Tanque de Pilispugyo

4.1.2 Padrón de usuarios y patrón de cultivos

El proyecto, beneficiará a 22 lotes propiedad de 16 comuneros cuya media de tenencia de la tierra es de 730m²/beneficiario, y como superficie de cobertura de riego 1,6 Hectáreas.

Tabla 4.2 PADRÓN DE USUARIOS Y PATRÓN DE CULTIVOS

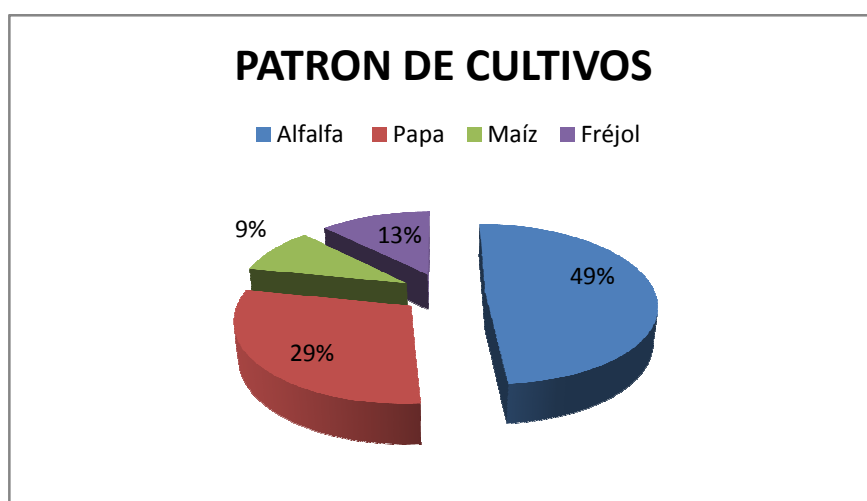
CODIGO	NOMBRE	PATRON DE CULTIVOS	AREA (m2)
L1	FAUSTINO PACA	Alfalfa, arveja, papa, haba	831,5
L2	FRANCISCO TELENCHANO	Papa, chocho, maíz, lenteja	1290
L3	IGNACIO PACA	Alfalfa	585
L4	IGNACIO PACA	Barbecho	354,5

L5	IGNACIO PACA	Alfalfa	712
L6	GABRIEL PACA	papa, maíz	705
L7	MANUELA GUAMAN PACA	Alfalfa	906
L8	MARIA PACA PACA	haba, maíz	341
L9	SN	Barbecho	360
L10	SN	Barbecho	481,5
L11	AGUSTINO PACA	Alfalfa	511
L12	JOSE ILBAY	Barbecho	617,5
L13	AMBROCIO ILBAY	alfalfa, haba, maíz	991
L14	AMBROCIO ILBAY	Alfalfa	988
L15	JACINTO TUYUPANTA	Alfalfa	2146,5
L16	JUANA AGUALSACA	papa, haba, maíz, cebada, oca, quinua	966
L17	ROSA YUQUILEMA	Maíz	552
L18	ROSA BARBERA	papa, haba, maíz, arveja	926,5
L19	JUANA BARBERA	Alfalfa	320,5
L20	ANTONIO BARBERA	alfalfa, barbecho	372
L21	CARLOS PACA	Alfalfa	487
L22	AGUSTINA GUAMAN	haba, maíz	614,5
Superficie Total			16059

Como es común en las zonas andinas de la serranía ecuatoriana, la producción de pastos principalmente alfalfa (49%) y papa (29%) representan la mayor actividad agrícola de la zona, destacando claro está, que en este tipo de sistemas siempre se encontrarán involucrados diversos cultivos a pequeña escala los mismos que sirven como fuente nutricional de la familia campesina entre los que podemos destacar: maíz, fréjol, haba, entre otros, que de una u otra manera facilitan y garantizan la provisión de alimentos de manera constante.

Tabla 4.3 PORCENTAJE DEL PATRÓN DE CULTIVOS

CULTIVO	AREA	PARTICIPACION
Alfalfa	7833	48,78%
Papa	4719	29,39%
Maíz	1507,5	9,39%
Fréjol	1999,5	12,45%


**Figura 4.3** Patrón de Cultivos

La necesidad hídrica de los cultivos antes mencionados se podrían ver beneficiados considerablemente a través de la implementación de riego presurizado, en donde se optimice el recurso agua y por otro lado se tienda a elevar los niveles de rendimiento lo cual permitiría incrementar la productividad por unidad de superficie garantizando de esta manera la sostenibilidad y sustentabilidad de la actividad agropecuaria de la zona y por ende de la población directa o indirectamente dependiente.

4.2 Diseño Agronómico

4.2.1 Introducción [30]

Para un adecuado diseño agronómico es necesario relacionar entre:

- 
- Clima
 - Calidad del agua
 - Suelo
 - Planta o Cultivo
 - Topografía

Por lo contrario si no son consideradas ya sea por ignorancia o falta de planeación, la actividad agrícola desaparece casi siempre.

Cuando se suministra agua en cantidades apropiadas y constantes se puede obtener buenos resultados en la producción agrícola. Las prácticas agronómicas apropiadas pueden incluir: Drenaje, fertilización, rotación de cultivos, mejora de suelos y manejo, control de erosión, selección de los cultivos mejor situados para las condiciones locales.

El objetivo del diseño agronómico es determinar la evapotranspiración que es el factor básico para saber los requerimientos de agua de cultivo, tomando en cuenta que el análisis se lo realizará en el mes más crítico durante la estación de cultivo

Las necesidades de riego están basadas en:

- Las exigencias del régimen de riego.
- El sistema de riego tiene que ser capaz de abastecer el volumen de agua requerido durante la etapa de máximo consumo de agua por el cultivo.
- Por lo tanto, el primer paso es identificar dicha etapa y obtener los datos pertinentes.

- En base a éstos datos se determina el régimen de riego y se procede al diseño del sistema de riego.
- El diseño de un sistema de riego por aspersión debe ser hecho de tal manera que los resultados aseguren la satisfactoria operación del sistema para la producción de la óptima cosecha.

4.2.2 Inventario de los recursos en la unidad agrícola

4.2.2.1 Condiciones climatológicas

Región Calpi, sector San Francisco de Cunuguachay, altitud 3400 m.s.n.m. Ver Tabla 62.

4.2.2.2 Levantamiento topográfico

La topografía de la zona no es irregular, sobresalen pendientes pronunciadas en algunas parcelas, las que en algunos casos alcanzan hasta el 90%, ver en anexos Plano N° 22.

4.2.2.3 Análisis de suelo [39]

Del análisis físico del suelo se ha determinado que el suelo es Franco arenoso³³

Tabla 4.4 FACTORES DE CONSTITUCIÓN QUE DETERMINAN LA CALIDAD DE UN SUELO CULTIVABLE

Textura	Franco arenoso	
CC	0.238	cm ³ agua/cm ³ suelo
PMP	0.119	cm ³ agua/cm ³ suelo
Humedad	0.110	cm ³ agua/cm ³ suelo

³³ Anexo 4.1

Densidad aparente	1.300	gr/cm ³
Densidad real	2.483	gr/cm ³
Porosidad	47.64	%

4.2.2.4 Análisis de agua de riego

Se tomaron muestras de la toma de Pilispugyo para realizar el análisis químico, analizado por el laboratorio de análisis técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, obteniendo los siguientes datos:³⁴

Tabla 4.5 DATOS ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA DE LA TOMA PILISPUGYO

Determinaciones	Unidades	Metodo	Resultados
pH	Und.	4500-B	8,08
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	650
Turbiedad	NTU	2130-B	0,146
Alcalinidad	mg/L	2320-B	780
Dureza	mg/L	2340-C	216
Cloruros	mg/L	4500-CL-B	46,8
Nitritos	mg/L	4500-NO2-B	0,03
Fosfatos	mg/L	4500-PO4-D	0,07
Sulfatos	mg/L	4500-SO4-E	34,87
Solidos Totales	mg/L	2540-B	496.0

4.2.3 Requerimiento de agua y operación de cultivo

4.2.3.1 Evaporación

³⁴ Anexo 4.2

Luego de un período de lluvia o riego parte de agua aplicada se pierde por evaporación directa a través de la superficie del suelo. La cantidad de agua perdida, en términos de porcentaje de cantidad de agua aplicada, depende la magnitud y frecuencia de las aplicaciones de agua y la fracción expuesta a la superficie del suelo.

Aplicaciones leves y frecuentes de agua generalmente resultan en altas pérdidas de agua por evaporación, inclusive en el caso de riego por goteo se estiman que para un suelo totalmente descubierto, riego uniforme (toda la superficie humedecida) y una evapotranspiración potencial de 5mm/día, la pérdida de evaporación por agua varía entre el 25% y 90% de la evapotranspiración potencial para intervalos de riego de 20 días y 2 días respectivamente.

La evaporación del agua depende del poder evaporante en cada punto en que se produce, pero también de:

- a) Cantidad de agua en la superficie evaporante
- b) Estado de dicha agua, es decir las fuerzas de retención a que puede estar sujeta.
- a) Características de dicha superficie, tamaño, naturaleza.

4.2.3.2 Transpiración [37]

La transpiración se refiere a la evaporación del agua del suelo a través del sistema vascular de la planta. El volumen de agua transpirada dependerá de muchos factores como la demanda evapotranspirativa (evapotranspiración potencial), la etapa de desarrollo del cultivo y la cantidad de agua disponible del suelo de la zona de crecimiento de las raíces.

Para muchas cosechas se han encontrado que la transpiración comienza a disminuir y las plantas comienzan a sufrir por falta de agua una vez que aproximadamente la mitad del agua disponible del suelo en la zona de raíces haya sido extraída por la planta. La capacidad de retención del agua del suelo, pues, desempeña un rol clave en la determinación de la frecuencia y la cantidad de riego requerido para satisfacer las necesidades de agua de las plantas.

4.2.3.3 Evapotranspiración. [29]

Es la suma de la transpiración y el agua que se evapora del suelo. Factor que determina la cantidad de agua requerida para mantener una deseada humedad en el suelo y un nivel de salinidad apropiado durante el cultivo.

El valor de evapotranspiración que proporcionan las Estaciones Meteorológicas corresponde a un cultivo de gramíneas o pasto, de 12 de cm de altura, que se desarrolla bajo condiciones óptimas de manejo agronómico y humedad en el suelo, el cultivo es asumido como uniforme en crecimiento activo.

Para determinar la evapotranspiración correspondiente a cualquier otro cultivo (ETc), a partir de los valores de ETo se requiere de la determinación de un coeficiente de corrección, denominado coeficiente de cultivo (Kc).

Las diferencias entre ETo y la evapotranspiración de un cultivo en particular ETc, están relacionadas con las diferencias fisiológicas entre el cultivo de referencia y el cultivo a estudiar, así como diferencias entre resistencias aerodinámica y fisiológica del cultivo a la evapotranspiración.

En la publicación de la FAO-56 se indica que las principales características que diferencian a un cultivo dado de referencia son las siguientes:

- **Altura del cultivo.-** Este parámetro afecta la resistencia del cultivo al viento (Resistencia aerodinámica), la cual afecta la magnitud de la evapotranspiración.
- **Albedo.-** El albedo afecta la cantidad de radiación que es reflejada, lo que modifica el valor de radiación neta, la cual es la principal fuente de energía para el proceso evapotranspiratorio.
- **Resistencia del cultivo.-** Cada cultivo tiene un particular número de estomas (Relacionado con su área foliar) y resistencia de los mismos al proceso de evapotranspiración.

- **Evaporación.-** Cada cultivo cubre una determinada porción de suelo con respecto a su área total de influencia. Esto produce cambios en la cantidad de agua que es evaporada a partir de las superficies húmedas al suelo.

4.2.4 Cálculo de la evapotranspiración de referencia [29]

Para determinar la evapotranspiración se utiliza los datos proporcionados por la estación meteorológica ESPOCH, estos se basan por el método del tanque evaporímetro.

A pesar de la diferencia en los procesos ligados a la evaporación del tanque y la evapotranspiración de superficies cultivadas, el uso de la evaporación del tanque para predecir el ETo para períodos de 10 días puede ser considerado confiable si se usa correctamente. La evaporación del tanque está relacionada con la evapotranspiración de referencia de un coeficiente empírico derivado del mismo tanque:

$$ET_o = K_p * E_{pan} \quad (4.2)$$

Donde:

ETo: Evapotranspiración de referencia (mm/día) [29]

Kp: Coeficiente del tanque evaporímetro

Epan: Evaporación del tanque evaporímetro (mm/día)

4.2.4.1 Evaporación del tanque evaporímetro (Epan)

Estos son valores que se adquirieron de anuarios o archivos referencias de promedios mensuales de la estación meteorológica ESPOCH.

4.2.4.2 Coeficiente del tanque evaporímetro (Kp) [29]

Para seleccionar el coeficiente apropiado para un tanque evaporímetro dado, se debe considerar no solamente el tipo de tanque, sino también la cobertura del suelo donde se

ubica el tanque, sus alrededores así como el viento y las condiciones generales de humedad. La localización y el ambiente del tanque evaporímetro también tienen influencia en los resultados ver Anexo 4.3

Lo último es particularmente cierto en casos en que el tanque evaporímetro se encuentra situado en suelos bajo barbecho y no en campos cultivados. Bajo esta característica, dos casos se consideran comúnmente:

- **Caso A:** en que el tanque evaporímetro se localiza en una zona de pasto corto verde y está rodeado por un suelo en barbecho
- **Caso B:** en que el tanque evaporímetro se localiza sobre un suelo en barbecho y está rodeado de un cultivo verde. Este es el caso que utiliza la estación meteorológica ESPOCH.

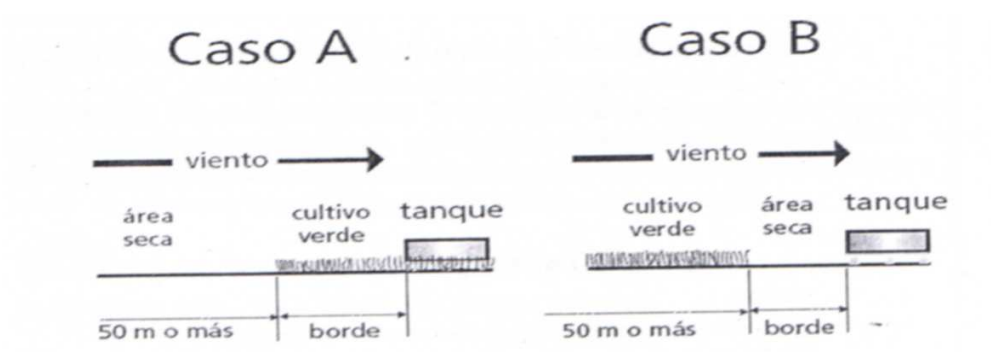


Figura 4.4.4 Dos casos de localización del tanque de evaporación y sus alrededores

Realizamos el análisis anterior para el mes de Mayo:

E_{pan} : 6.56 mm/día

K_p : 0.5³⁵

$$E_{To} = K_p * E_{pan}$$

$$E_{To} = 0.5 * 6.56 \text{ mm} / \text{día}$$

³⁵ Anexo 4.3

$$ET_o = 3.27 \text{ mm / día}$$

Mediante el software CROPTWAT de la FAO se obtiene la siguiente tabla en donde calculamos el ET_o para todos los meses en base a datos desde el año 2005 al 2010, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 4.4.6 DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA ESPOCH 2005 AL 2010

ET _o Penman-Monteith Mensual - C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\ESPOCH.PEM							
País		Estación					
Ecuador		ESPOCH					
Altitud		Latitud		Longitud			
2760 m.		1.00 °N		78.00 °E			
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ET _o
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	12.9	15.5	59	190	6.0	18.0	3.56
Febrero	12.9	15.1	65	181	6.0	18.6	3.48
Marzo	13.1	15.4	69	164	6.0	18.9	3.44
Abril	13.2	15.0	67	164	5.8	18.1	3.36
Mayo	13.1	14.8	66	181	6.0	17.5	3.27
Junio	12.2	14.4	66	181	9.0	21.1	3.54
Julio	11.6	13.8	62	225	11.0	24.2	3.93
Agosto	11.8	13.8	57	233	10.0	23.9	4.11
Septiembre	12.4	14.5	58	199	11.0	26.3	4.39
Octubre	12.9	15.3	59	181	11.0	26.3	4.42
Noviembre	13.1	15.8	55	190	9.0	22.5	4.14
Diciembre	13.1	15.5	62	181	8.0	20.6	3.72
Promedio	12.7	14.9	62	189	8.2	21.3	3.78

Como podemos observar en la tabla la Evapotranspiración de referencia determinada para el sistema de riego a implementarse está en el rango mínimo de 3,27 mm por día para el mes de Mayo, mientras que la Evapotranspiración de referencia máximo nos da para el mes de Octubre con un promedio de 4,42 mm por día.

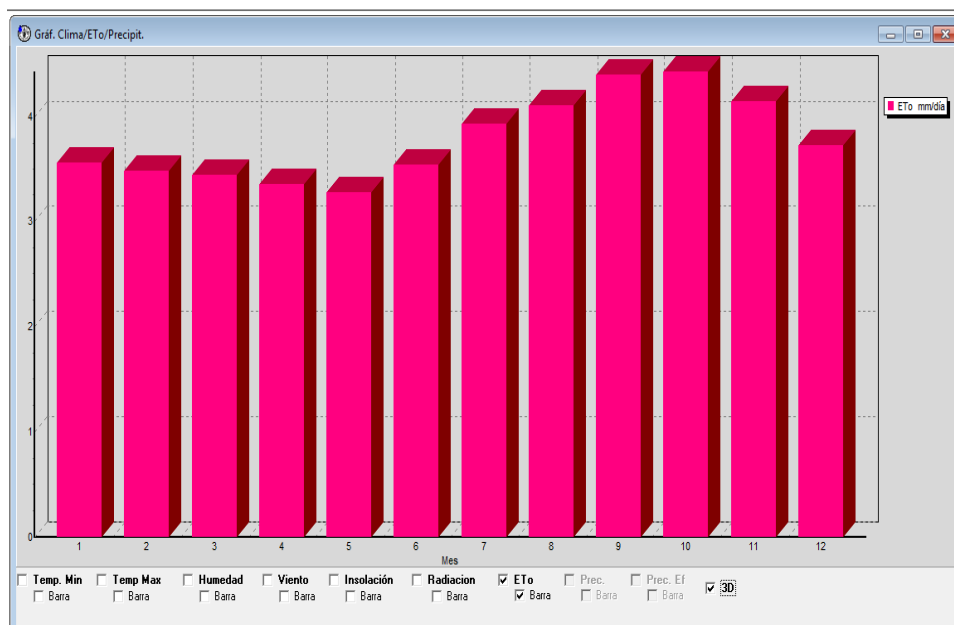


Figura 4.4.5. Esquema del ETo

4.2.5 Determinación de la evapotranspiración de cultivo [29]

Para calcular el valor de ET_c , la FAO-56 propone una metodología basada en la siguiente ecuación:

$$ET_c = K_c * ETo \quad (4.3)$$

Donde:

ET_c : Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ETo : Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

K_c : Coeficiente de cultivo

4.2.5.1 Coeficiente de cultivo (K_c)[33]

Este coeficiente es un factor determinado experimentalmente en varios lugares del mundo y sus valores son diferentes para las distintas fases de desarrollo de cada cultivo. Al graficar estos valores en función al tiempo, se encuentra que forman una curva acampanada en la que los mismos se ubican al comienzo y al final del ciclo vegetativo (cuando el

cultivo esta pequeño y después de la formación del fruto) y los máximos coinciden aproximadamente con la floración.

El coeficiente de cultivo integra, en la forma de un coeficiente de corrección, todas las características fisiológicas y aerodinámicas del cultivo estudiado. El valor de K_c integra los efectos de la transpiración de las plantas y la evaporación que ocurre a partir de las superficies húmedas del suelo.

4.2.5.2 Construcción de la curva del coeficiente del cultivo[32]

La construcción de la curva del coeficiente del cultivo se realiza de la siguiente forma: a todos los días ubicamos entre el día de siembra (día cero) y el día correspondiente al final de la etapa inicial (45), se les asigna el valor de K_c correspondiente a la etapa inicial. Luego a los días ubicados entre el último día de la etapa de desarrollo y al último día de la etapa intermedia, se le asigna el valor correspondiente a la etapa intermedia. Finalmente, al último día de la etapa final se le asigna el valor de K_c correspondientes al resto de los días serán valores mencionados, los cuales pueden ser obtenidos por extrapolación.

Presentamos valores del coeficiente del cultivo K_c , correspondientes a distintos cultivos y etapa de desarrollo de los mismos y valores comunes de altura de los mismos basados en la FAO – 56.³⁶

³⁶ Anexo 4.4

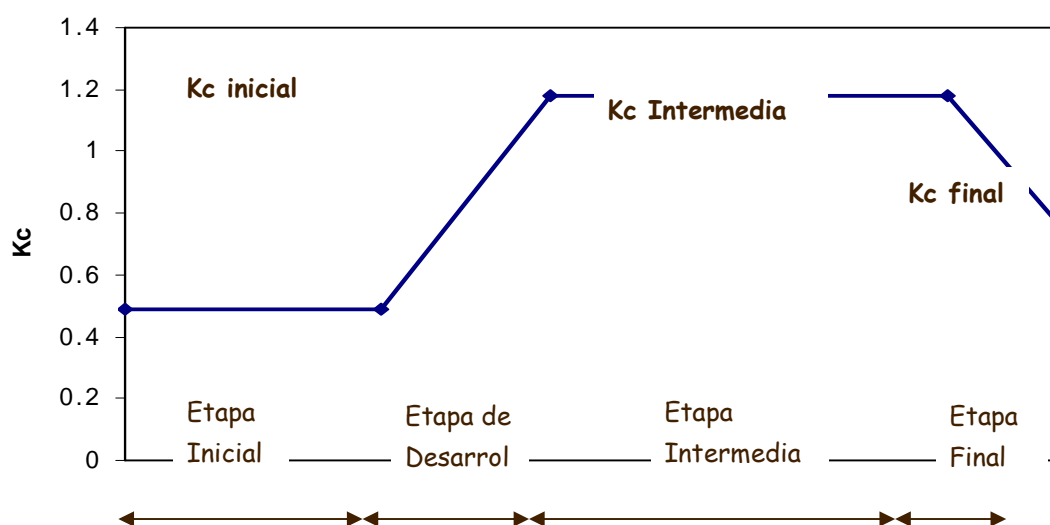


Figura 4.4.6 Curva Típica del Kc

Se ha determinado que el cultivo crítico que realizan en el sector donde hemos realizado el análisis de patrón de cultivos es el de alfalfa y de papa, es por ello que a continuación presentamos los valores y análisis del Kc de estos productos agrícolas.

4.2.5.2.1 Kc – Días Siembra Cosecha – Profundidad reticular – Agotamiento para el cultivo de alfalfa

Para elaborar la curva de coeficiente para el cultivo de alfalfa, se busca en la Tabla 4.2 valores comunes de altura de los mismos basados en la FAO – 56, la longitud de cada etapa de desarrollo del cultivo y se utilizan los valores de Kc correspondiente a cada etapa. Obteniendo la información presentada en la siguiente Tabla 4.2:

Tabla 4.4.7 DATOS DE INFORMACIÓN CORRESPONDIENTE AL CULTIVO DE ALFALFA

<i>Etapa</i>	<i>Inicial</i>	<i>Desarrollo</i>	<i>Intermedio</i>	<i>Final</i>
<i>Longitud(mm)</i>	100	300	20	10
<i>Tiempo desde el día de siembra(días)</i>	10	40	60	70
<i>Kc</i>	0,4		0,95	0,9

Para facilitar el trabajo de selección mediante tablas, se comprueba mediante el software CROPTWAT de la FAO como se indica a continuación.

De acuerdo a nuestro padrón de cultivos el cultivo más crítico y más utilizado viene a ser la alfalfa.

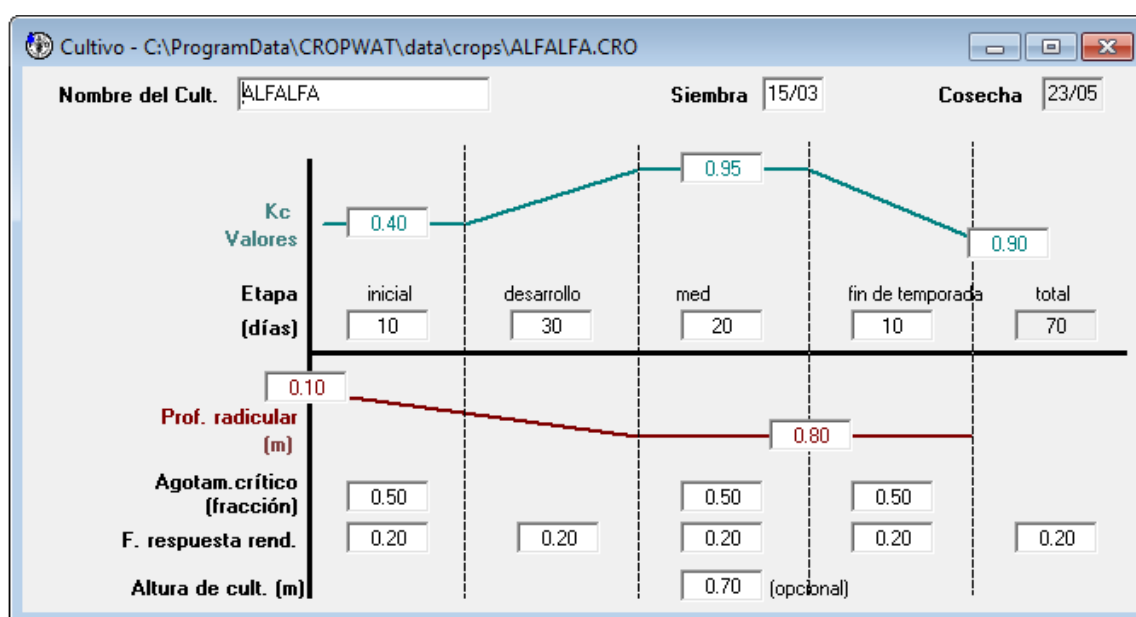


Figura 4.4.7 Curva del Kc de la alfalfa

De acuerdo a la información introducida en el software CROPTWAT de la FAO como resultado tenemos que, para el cultivo de alfalfa tenemos un Kc inicial de 0,40, un Kc Intermedio 0,95 y un Kc final 0,9, aducimos que estamos sembrando el quince de marzo y cosechamos el 23 de mayo, es de anotar que este cultivo es perdurable y el ciclo dura dos

meses, es así que para la etapa inicial se logra determinar 10 días, para la etapa de desarrollo 30 días, para la etapa media 20 días y para la etapa de senescencia 10 días, la profundidad radicular se mantiene en 80 cm de inicio a fin de temporada, la altura máxima del cultivo nos llegara hasta 70 cm, el agotamiento critico de consumo de agua se dará hasta el 50% como máximo, esta información nos sirve para calcular el requerimiento de agua del cultivo.

4.2.5.2.2 Kc – Días Siembra Cosecha – Profundidad reticular – Agotamiento para el cultivo de papa

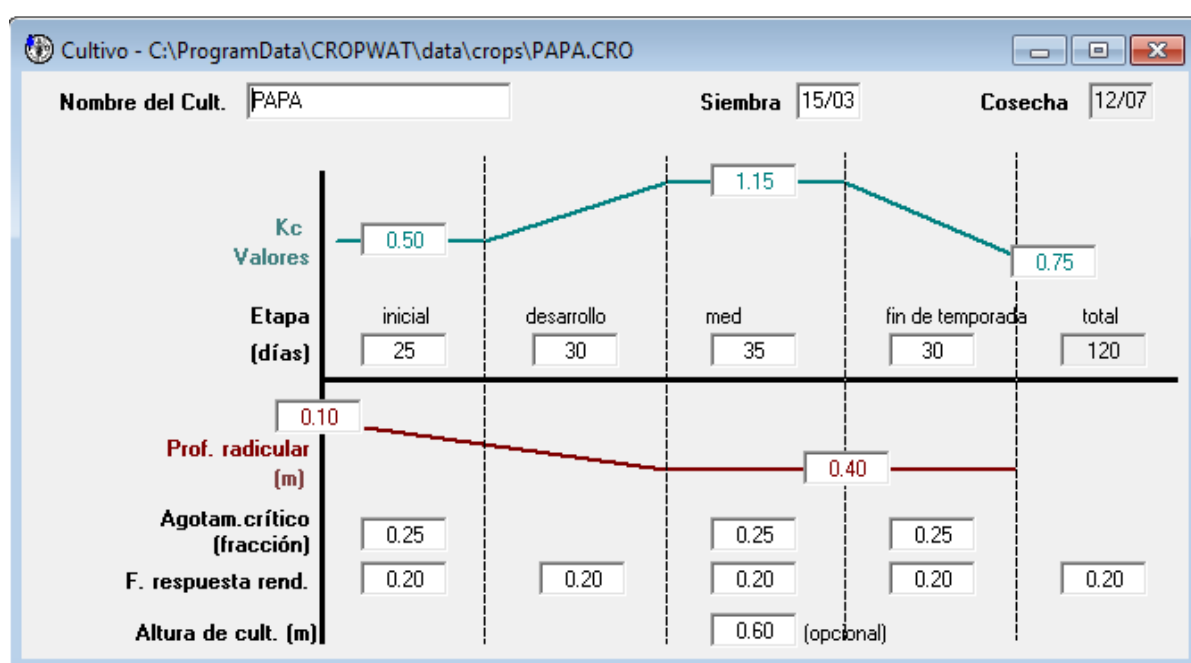


Figura 4.4.8 Curva del Kc de la papa

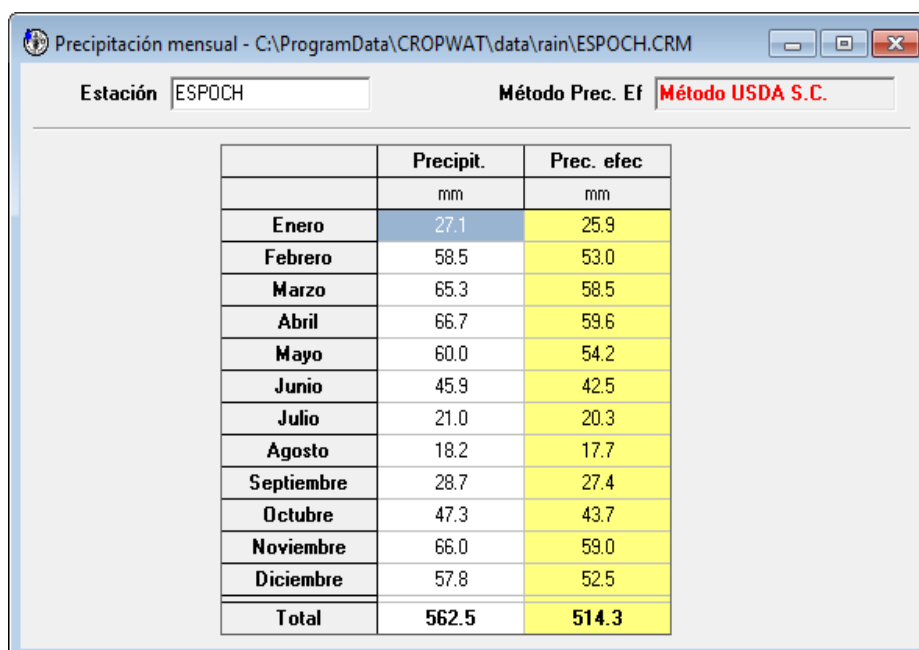
De acuerdo a la información introducida en el software Croptwat de la FAO como resultado tenemos que, para el cultivo de papa tenemos un Kc inicial de 0,50, un Kc Intermedio 1,15 y un Kc final 0,75, aducimos que estamos sembrando el 15 de Marzo y cosechamos el 12 de Julio, con un periodo de siembra cosecha de 120 días, es así que para la etapa inicial se logra determinar 25 días, para la etapa de desarrollo 30 días, para la etapa media 35 días y para la etapa de senescencia 30 días, la profundidad radicular inicia con 10

cm y finaliza con 40 cm por la temporada, la altura máxima del cultivo nos llegara hasta 60 cm, el agotamiento critico de consumo de agua se dará hasta el 50% como máximo, esta información nos sirve para calcular el requerimiento de agua del cultivo.

4.2.6 Precipitación efectiva

Es indispensable conocer la frecuencia y el volumen de las lluvias para poder planificar el riego. Como en un período dado cabe prever que las lluvias variaran considerablemente de un año para otro, se podrá considerar que unas lluvias medianas basadas en unos datos cortos constituyen, en el mejor de los casos, una aproximación muy somera y expuesta a grandes errores. Además, no toda la lluvia que cae resulta efectiva, parte de ella se pierde en forma de escorrentía, percolación profunda o evaporación.

Tabla 4.4.8 TABLA DE PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LLUVIA DEL SOFTWARE CROPWAT



The screenshot shows the 'Precipitación mensual' window in CROPWAT. The station is 'ESPOCH' and the method is 'Método USDA S.C.'. The table displays monthly precipitation and effective precipitation data.

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	27.1	25.9
Febrero	58.5	53.0
Marzo	65.3	58.5
Abril	66.7	59.6
Mayo	60.0	54.2
Junio	45.9	42.5
Julio	21.0	20.3
Agosto	18.2	17.7
Septiembre	28.7	27.4
Octubre	47.3	43.7
Noviembre	66.0	59.0
Diciembre	57.8	52.5
Total	562.5	514.3

La lluvia efectiva no es sino una parte de la lluvia total. Parte de la lluvia puede perderse debido a la escorrentía superficial, a una percolación profunda por debajo de la biosfera o a la evaporación de la lluvia interceptada por las hojas de las plantas. En las

regiones de lluvias fuertes e intensas puede ocurrir que solamente entre y quede almacenada en la biosfera una parte de ellas y, por consiguiente, la eficiencia de la lluvia será baja. En el caso de lluvias frecuentes y ligeras puede ser muy importante la interceptación por las hojas de las plantas; las plantas húmedas tienden a transpirar menos, lo cual queda sin embargo más que contrarrestado por el aumento de evaporación de la lluvia interceptada por esas hojas.

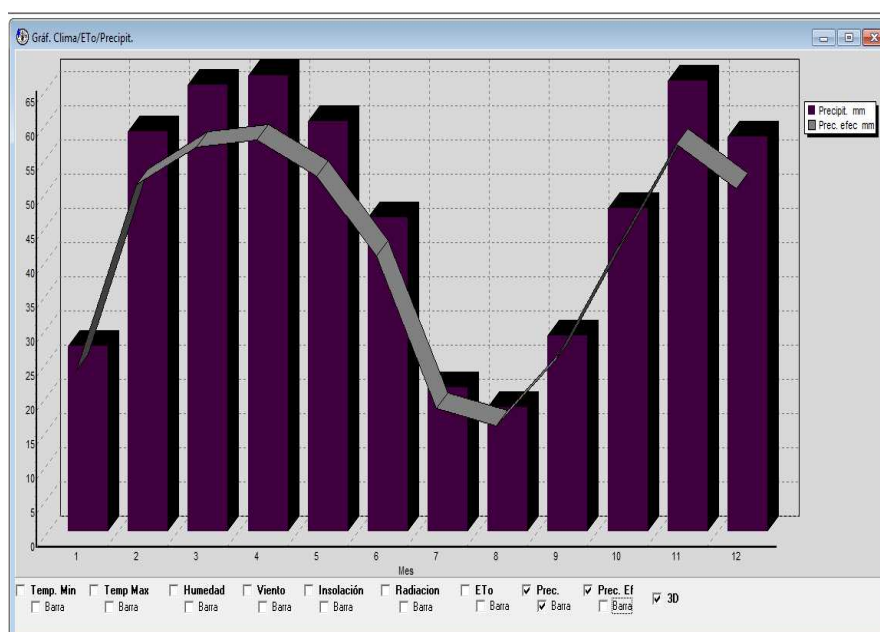


Figura 4.4.9Curvas de Precipitación

En la práctica, en condiciones de cubierta sombreada completa, se puede suponer razonablemente que las lluvias ligeras interceptadas tienen una eficiencia cercana al 100%. Cuando un gran porcentaje del suelo no quede cubierto por los cultivos y su superficie haya estado seca durante cierto tiempo antes de la lluvia, podrá ser considerable la evaporación de la superficie húmeda del suelo. Unas lluvias de 6 a 8 mm al día pueden perderse casi en su totalidad debido a la evaporación, incluso unas lluvias de 25 a 30 mm durante las fases inicial y temprana de desarrollo del cultivo con un porcentaje reducido de cubierta sombreada pueden traer consigo una ganancia neta que sea tan solo de un 60% de las lluvias recibidas.

4.2.6.1 Reposición[38]

La reposición es la cantidad de agua en mm que se encuentra en la diferencia de la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva, obteniendo así un resultado de la absorción de agua por las raíces que compensa las pérdidas debido a la transpiración por las hojas. En días calurosos y secos la planta necesita ejercer una función rápida de agua para detener la pérdida. Si el agua disponible del suelo es poca, o la superficie de absorción de las raíces es reducida, ocurrirá un marchitamiento temporal de la planta durante las horas de calor y sequía.

Es indispensable esta condición atenderla si el ritmo de absorción es suficiente para abastecer la cantidad de agua determinada por el ritmo de transpiración. Por lo tanto debe regarse las zonas de raíces antes de ser utilizadas toda el agua disponible.

$$\text{Reposición} = \text{Etc (mm/día)} - \text{Precipitación efectiva (mm/día)} \quad (4.4)$$

4.2.7 Determinación del calendario de riego de los cultivos [37]

La información obtenida a partir de las estaciones meteorológicas es de una alta precisión, lo que permite hacer estimaciones confiables de la cantidad de agua que los cultivos necesitan para obtener una producción óptima.

Los valores de evapotranspiración de los cultivos (ETc) vienen expresadas en unidades de milímetros por día. Por ejemplo si hablamos de que un cultivo de zanahoria evapotranspira una tasa de 3mm/día, esto equivale a decir que el cultivo necesita diariamente una lámina de agua de 3 mm, repartida uniformemente en el área cultivada. Esta lámina deberá ser suministrada al cultivo a través de riego o lluvia.

En la práctica, el riego no es aplicado diariamente sino cada cierto número de días, denominado como frecuencia o intervalo de riego. Para determinar la frecuencia con que se debe aplicar el riego al cultivo debemos considerar la cantidad máxima de agua que el suelo puede retener, en la zona de influencia de las raíces del cultivo, que puede ser disponible para las plantas.

Mediante las siguientes ecuaciones se determinan varios parámetros necesarios:

4.2.7.1 Determinación del agua útil para riego[32]

Aunque el cultivo puede extraer agua hasta el punto de marchitez permanente, a medida que el suelo se seca las plantas comienzan a emplear significativamente cantidades de energía para extraer el agua, lo que se traduce en situaciones de estrés, imposibilidad de satisfacer la demanda evapotranspiratoria, y posible reducción de productividad. Estas condiciones de estrés hídrico se manifiestan a partir de un contenido de humedad intermedio o umbral entre capacidad de campo y punto de marchitez.

$$AU = (CC - PMP) * Da * Z \quad (4.5)$$

Donde:

AU= Agua útil o lámina total de agua, disponible para las plantas, en la zona reticular [mm]

CC = contenido de humedad a capacidad de campo [m^3/m^3]

PMP = contenido de humedad a punto de marchites permanente [m^3/m^3]

Da = densidad aparente del suelo [gr/cm^3]

Z = profundidad de la zona radicular [mm]

4.2.7.2 Determinación de la lámina neta de riego[29]

Con el fin de considerar la cantidad de agua disponible para la planta, que puede ser fácilmente extraída por las plantas, se calcula la denominada lámina neta, a través de la siguiente expresión:

$$Ln = \text{umbral} \times AU \quad (4.6)$$

Donde:

AU= Agua útil o lámina total de agua, disponible para las plantas, en la zona reticular [mm]

Ln = lámina neta [mm]

Umbral = umbral de riego [fracción]

El valor del umbral de riego depende de la sensibilidad del cultivo a la reducción del agua disponible en el suelo, factores climáticos y factores económicos. Para cultivos delicados y con un valor económico importante tal como hortalizas y flores, es común adoptar umbrales de riego entre 0.3 y 0.4 (30 – 40%). [29]

4.2.7.3 Determinación de la frecuencia de riego[29]

Conocida la lámina de agua que el suelo puede retener y definido el umbral de riego según el tipo de cultivo se procede a calcular la frecuencia de riego máxima, a través de la siguiente ecuación:

$$FR_{\max} = \frac{Ln}{ETc} \quad (4.7)$$

Donde:

FR_{\max} = frecuencia de riego máxima¹⁶ [días]

Ln = lámina neta [mm]

ETc = evapotranspiración de cultivo [mm/día]

El valor de la frecuencia máxima representa el intervalo máximo entre riegos que permite satisfacer la demanda evapotranspiratoria de cultivo, en función del tipo del suelo y el umbral de riego adoptado. En la práctica se puede aplicar el riego utilizando cualquier intervalo de tiempo menor o igual al calculado.

4.2.7.4 Determinación de la lámina bruta de riego[29]

Finalmente la lámina de riego a aplicar se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$Lb = \frac{ETc \times FR}{Ef} \quad (4.8)$$

Donde:

Lb = lámina bruta de riego³⁷ [mm]

FR = frecuencia de riego [días]

ETc = evapotranspiración del cultivo [mm/día]

Ef = eficiencia del sistema de riego [%]

4.2.7.5 Determinación del volumen de riego[29]

El volumen de agua a aplicar se determina como:

$$V_{\text{riego}} = Lb \times \text{Area} \quad (4.9)$$

Donde:

V_{riego} = volumen de riego a aplicar¹⁶ [litros]

Lb = lámina bruta de riego [mm]

Área = área cultivada [m²]

³⁷ Cincuenta Cultivos-de Exportación. CFN CORPORACION FINANCIERA NACIONAL.

4.2.7.6 Cálculo tipo:

Se realiza un cálculo tipo del cultivo más crítico que en este caso es la alfalfa en su etapa inicial en el mes de enero con un $Z=100\text{mm}$ en un tiempo de 10 días y con los datos obtenidos del 4.2.2.3:

$$AU = (CC - PMP) \times Da \times Z$$

$$AU = (0.238 - 0.119) \times 1.3 \times 100 \text{ mm} = 15.47 \text{ mm}$$

Se determina la Evapotranspiración del cultivo:

$$ETc = Kc \times Eto$$

$$ETc = 0.4 \times 3.56 \text{ mm/día} = 1.424 \text{ mm/día}$$

Ahora buscamos la reposición de agua necesaria:

$$Rep = Etc \text{ (día)} - \text{Precipitación efectiva (día)}$$

$$Rep = 1.424 - 0.863 = 0.56 \text{ mm}$$

Se calcula la lámina neta:

$$Ln = \text{umbral} \times AU$$

$$Ln = 0.3 \times 15.47 \text{ mm} = 4.641 \text{ mm}$$

Ahora la frecuencia máxima de riego:

$$FR_{\max} = \frac{Ln}{ETc}$$

$$FR_{\max} = \frac{4.641 \text{ mm}}{1.424 \text{ mm/día}} = 3.46 \text{ días}$$

El valor es 3.46 para una aproximación aplicamos 3 días es decir el intervalo de riego es de cada 3 días.

Para buscar la lámina bruta es necesario saber la eficiencia del tipo de riego, para aspersión es del 70%.

$$Lb = \frac{ETc \times FR}{Ef}$$

$$Lb = \frac{1.424 \times 3}{0.7} = 6.63 \text{ mm}$$

Llegando a obtener el volumen de agua por mes:

$$V_{\text{riego}} = (Lb - \text{Precipitación efectiva}) \times \text{Area}$$

$$V_{\text{riego}} = (5.76 \text{ mm} - 0.863 \text{ mm}) \times 16059 \text{ m}^2 \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 92.60 \text{ m}^3$$

Los resultados obtenidos mediante el cálculo realizado de las ecuaciones anteriores y datos obtenidos de los cultivos críticos que son alfalfa y papa, donde se determinará el volumen de agua necesario, se presenta a continuación.

4.2.7.7 Calendario de riego para alfalfa

4.2.7.9 Selección del aspersor

Son parte muy importante del equipo del riego por aspersión y por tanto el modelo, tipo de lluvia (más o menos pulverizada) que producen, alcance, partes como se muestra en la Figura 4.8.

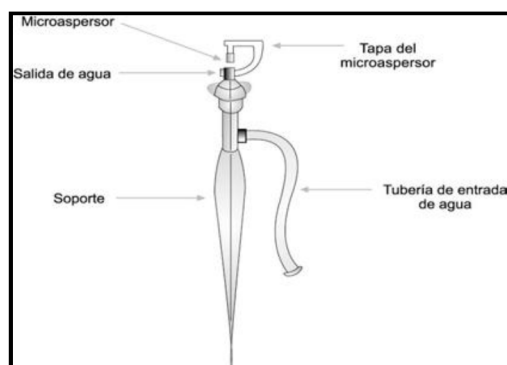


Figura 4.4.10Diagrama de un microaspersor

Los más utilizados en la agricultura son los giratorios porque giran alrededor de su eje y permiten regar superficies de 40°, 90°, 180°, 270° y 360°, al utilizar un deflector, lo que resulta de utilidad en algunos diseños en jardines, por ejemplo, para evitar mojar troncos de árboles, senderos o luces.

Impulsados por la presión de trabajo del agua que determina el diámetro mojado del aspersor o microjet, de esta manera a mayor presión, mayor radio de alcance, entregando además mayor caudal.

El modelo de aspersor que hemos adoptado por recomendación de los técnicos de ISRARIEGO y del Centro Experimental de Riego ESPOCH, para nuestro diseño es de volumen reducido y aspersor que brinda el requerimiento es del tipo “x cel wobbler” cuyos datos técnicos y aplicaciones anotamos a continuación:

4.2.7.9.1 Datos técnicos [2]

Un modelo de aspersor puede tener varios rotores, identificados por su color, los que determinan la salida de un cierto caudal a una cierta presión de operación. Trabajar

sobre o bajo la presión adecuada de trabajo (especificada por el proveedor), determinan un riego uniforme, así como es el aspersor con material de PVC de la empresa PLASTIGAMA, como se ilustra en la Tabla 4.6.

Tabla 4.4.11 DATOS TÉCNICOS DEL ASPERSORX- CEL WOBBLER



X cel WOBBLER	PRESIONES DE TRABAJO (PSI)			
	10	15	20	25
Boquilla 6 (Gold) R/M 1/2"				
Caudal (GPM)	0.78	0.95	1.10	1.23
Diámetro a 0.50 m	11.13	12.50	13.72	14.02
Boquilla 7 (Lima) R/M 1/2"				
Caudal (GPM)	1.06	1.3	1.5	1.68
Diámetro a 0.50 m	12.19	14.17	14.32	15.40
Boquilla 10 (Turquesa) R/M 1/2" y 3/4"				
Caudal (GPM)	2.22	2.72	3.14	3.51
Diámetro a 0.50 m	13.56	14.94	15.40	16.30

Los datos técnicos se encuentran marcados con una presión de trabajo de 25 psi para su funcionamiento y con caudales que 1,23 GPM así como su espaciamento máximo entre aspersores es de 10m, son los datos³⁸ que usaremos para realizar los cálculos respectivos; que veremos más adelante.

4.2.7.9.2 Aplicaciones principales

- El Xcel WOBBLER con su nuevo diseño de balanceo mucho más suave, maximiza el área de cobertura, proporcionando una notable uniformidad.
- Irrigación en altura y germinación de hortalizas, patatas, flores, viveros e invernaderos.
- Desarrollados especialmente con los soportes elevadores con conectores para aspersores de 1/2" que es una varilla galvanizada de 5/16", tubo y conectores

³⁸Para nuestro cálculo que veremos más adelante vamos adoptar el espaciamento máximo entre aspersores de 10m. puesto que nos indicara la distancia de la ubicación de los aspersores.

rápidos de polietileno de 8 mm de diámetro y 1m de longitud así como se muestra la Figura 65.



Figura 4.4.11Diagrama de un aspersor con un elevador

- Mayor diámetro a bajas presiones, con menos pérdida de evaporación
- De construcción fuerte y de gran durabilidad, único aspersor con dos años de garantía.
- Menos pérdida de agua con una aplicación inmediata parecida a una lluvia natural.
- El Xcel WOBBLER disponible en conexión a rosca hembra de ½” y ¾”.

De acuerdo al análisis anterior tomando el cultivo más crítico que en este caso es la alfalfa se puede determinar el volumen de agua necesario por día es de 19.1 m^3 , donde será una referencia para el cálculo del diseño del tanque reservorio que se analizará en obras civiles, como el propósito de este proyecto es brindar un abastecimiento de agua permanente.

4.2.7.10 Pluviosidad media del sistema (P_{ms}) [29]

Este parámetro (mm/h) representa la pluviosidad que se obtendría si se distribuyera uniformemente el caudal emitido por el aspersor en la superficie que teóricamente riega de acuerdo al marco adoptado.

$$P_{ms} = \frac{227.12 * Q}{E_{lat} * E_{Asp}} \quad (4.11)$$

Donde:

P_{ms} = Pluviosidad del sistema (mm/h)

Q = Caudal del aspersor (GPM) Ver Tabla 73.

E_{lat} = Espaciamiento entre laterales = 10m

E_{asp} = Espaciamiento entre aspersores = 10m

$$P_{ms} = \frac{227.12 * 1.23 GPM}{10m * 10m} = 2.79 \frac{mm}{h}$$

Para que el sistema sea realmente rentable no suele ser frecuente que la pluviosidad supere los 3 o 4 mm/h, en este caso tenemos 2.79mm/h.

4.2.7.11 Tiempo máximo permisible de riego (t_r) [29]

Es el tiempo aproximado para completar un riego en el campo.

$$t_r = \frac{L_b}{P_{ms}} \quad (4.12)$$

Donde:

t_r = Tiempo de riego (h)

L_b = Lamina Bruta por riego (mm/riego) = $53/12 = 4,55$ mm/riego Ver tabla N° 4.10

P_{ms} = Pluviosidad del sistema (mm/h) = $2.79 mm / h$

$$t_r = \frac{4,55 mm}{2.79 mm / h}$$

$$t_r = 1,64 h$$

Como se puede observar el tiempo determinado para que el aspersor se encuentre en cada marco de riego es de 1,64 horas , para que luego el agricultor cambie al siguiente marco de riego.

4.3 Diseño Hidráulico

4.3.1 Riego parcelario [36]

Hoy en día la utilización del agua en la región andina, ha revolucionado la cultura del uso en el que se destaca la maximización del beneficio del recurso por unidad de superficie con el mayor rendimiento económico y social. En este sentido la presente estrategia se levanta sobre el concepto de la tecnificación del riego parcelario, donde no prima el volumen de agua disponible por familia, sino la necesidad del cultivo.

Se contribuirá al aprovechamiento del agua para la actividad agropecuaria, al tiempo de buscar una mayor equidad en el acceso y distribución de éste recurso para las parcelas.

Los aspectos técnicos que se considerarán como criterio para la implementación de las parcelas demostrativas son: el tipo de cultivo, extensión de la parcela, topografía y capacidad de inversión de la familia.

El manejo y mantenimiento del sistema será de responsabilidad personal del dueño de cada parcela respondiendo a las recomendaciones técnicas, transferidas mediante el proceso del desarrollo de este proyecto.

Por lo tanto para la comunidad de San Francisco de Cunuguachay se ha optado que la mejor alternativa es la implementar un sistemas semifijos con ramales móviles en donde se dota de un hidrante en la cabecera de cada lote como se indica en el Plano “Diseño de Redes” de tal manera que cada usuario tendrá la facilidad de colocar los accesorios respectivos al hidrante y podrán disfrutar de los beneficios del riego por aspersión.

4.3.2 Factores determinantes en el diseño [30]

Existen muchos factores que se tomaron en consideración para planificar el sistema de riego y determinar las necesidades de agua para sus cultivos, entre los factores principales que se consideraron fueron los siguientes: características físicas y topográficas del suelo, fuentes de provisión de agua, sistemas de administración parcelaria de agua, patrón de cultivos y factores ambientales.

Es importante antes de planificar un sistema de riego parcelario se realicen algunas preguntas fundamentales. ¿Por qué regar? ¿Cuánto regar? ¿Cuándo regar? ¿Cómo regar?

La respuesta correcta a estas interrogantes permitirá hacer uso racional y eficiente del agua y evitar riego en exceso o deficiencia, condiciones que repercutirán sobre el uso del suelo y en el rendimiento de los cultivos.

Los sistemas tradicionales de riego, si bien han sido un aporte valioso en un determinado momento para el mantenimiento de los cultivos, también han causado erosión pérdida de suelo fértil y se han utilizado grandes volúmenes de agua.

4.3.3 Análisis de tubería de conducción de la toma a tanque reservorio

El primer tramo es el de la toma de agua de Pilispugyo hacia el tanque reservorio los cuales se encuentran en las siguientes cotas:

- Tanque de toma Pilispugyo: 3473 msnm
- Tanque reservorio: 3433 msnm

El sistema de conducción de agua se realizará por gravedad ya que contamos con una diferencia de alturas de 40 m la cual nos brinda suficiente presión para lograr el llenado del tanque reservorio y con una longitud de 256,78 m de la toma hasta el tanque reservorio.

Para este proyecto seleccionamos el tubo de PVC para uso agrícola porque trabajan a grandes presiones con períodos de vida útil prolongada, no se producen corrosión, ni la formación de depósitos ni incrustaciones en las paredes interiores conservando inalterable su sección hidráulica.

El caudal disponible es de 0,3 lt/s el cual se utiliza para la selección de la tubería con material de PVC de la empresa PLASTIGAMA.³⁹

Tabla 4.4.12 ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS PVC SEGÚN EL CAUDAL

D. Nominal (mm)		20		25		32		40		50		63	
Caudal		Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V
lps	gpm												
0,30	4,8	10,39	1,23	3,07	0,75	0,83	0,44						

Según el caudal disponible tenemos una tubería entre 20, 25 y 32 mm, otro parámetro indispensable para la selección hay que tener en cuenta una velocidad mayor a 1m/s para que no exista sedimentación. El diámetro que nos brinda esta condición es la de 20mm con una velocidad de 1.23 m/s y una pérdida de carga de 10.39 m de columna de agua por cada 100 m de tubería.

Y ahora las características de la tubería de PVC de diámetro de 20mm:

Tabla 4.4.13 ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS PVC

Diámetro Nominal (mm)		Diámetro Interior	Espesor Nominal	Presión de Trabajo		
UNION U/Z	UNION E/C			MPa	PSI (lb/pulg ²)	Kgf/cm ²
	20	17.6	1.2	1.25	181	12.75
		17.4	1.3	1.60	232	16.32
		17.0	1.5	2.00	290	20.40

Para una tubería de 20mm tenemos solo unión por cementado solvente (E/C) esta unión consiste en unir las tuberías de 6m mediante una pega especial que se comercializa en la misma distribuidora, y debido a esta unión no existe perdidas secundarias.

³⁹ Anexo 4.5

Determinamos la perdida por cada metro de tubería:

$$P_c = \frac{10.39}{100} = 0.1039 \text{ pormetro}$$

$$P_r = 0.1039 * 256.78m$$

$$P_r = 25.68mca = 2.56atm = 36.65 \text{ psi}$$

La presión de trabajo de la tubería de 20mm con el espesor de 1.2mm tiene una presión de trabajo igual a 181 psi y este valor debe ser menor a la presión de trabajo del sistema que es la suma de la presión estática a 40m más la presión por pérdida.

$$P_r \leq P_t$$

$$94.63psi \leq 181psi$$

4.3.4 Redes de tuberías

En general la red de tuberías que conducen el agua por la superficie a regar se compone de ramales de alimentación que conducen el agua principal para suministrar a los ramales secundarios que conectan directamente con los aspersores.

Todo esto supone un estudio técnico adecuado ya que de él dependerá el éxito de la instalación. Un tubo puede ser considerado como un conducto cerrado en donde circula un fluido bajo presión, son generalmente de sección circular, lo cual ofrece la ventaja de una mejor resistencia mecánica y menos superficie de contacto con el fluido, lo que se traduce en menores pérdidas de fricción.

Cuando los tubos circulan llenos obedecen a la presión y son los tubos propiamente dichos, cuando no circulan llenos son sistemas de canales y su circulación obedece a la pendiente. Como en las pérdidas de energía o carga no intervienen la presión las leyes para tubos y canales son las mismas. Existen tres casos de flujo en tuberías que son básicos para la resolución de problemas complejos, que son:

DATOS	INCOGNITAS
1° CASO: Q, L, D, ν , k	hf
2° CASO: hf, L, D, ν , k	Q
3° CASO: hf, Q, L, ν , k	D

Donde:

Q = Caudal m³/seg.

L = Longitud de la Tubería en m.

D = Diámetro de la Tubería en mm.

ν = Viscosidad Cinemática para el agua, en función de la temperatura en m²/seg.

k = Medida del tamaño de las proyecciones rugosas en m (ver Anexo 3.4).

hf = Pérdida de Energía a lo largo del tubo y locales expresada en kg m/kg.

Para nuestro diseño nos corresponde adoptar el 3er Caso con D (diámetro) desconocido, además tenemos tres cantidades desconocidas en la ecuación de DARCY – WEISBAC que son: f, V, D.

Dos más en la ecuación de continuidad:

$$Q = A_1 * V_1 = A_2 * V_2$$

que son: V, D; y tres en la ecuación del Número de Reynolds:

$$R_e = V * \frac{D}{\nu} \quad (4.13)$$

La rugosidad relativa:

$$\frac{K}{D} \quad (4.14)$$

también es desconocida.

Para simplificar este problema partimos de la ecuación de continuidad:

$$V = \frac{Q}{A} = 4 * \frac{Q}{\pi D^2} \quad (4.15)$$

$$hf = \lambda * \frac{L * V^2}{2D g} \quad (4.16)$$

Reemplazamos la ecuación (4.15) y en la ecuación (4.16)

$$hf = \lambda_1 * \frac{L}{D} * \frac{Q^2}{\left(\frac{\pi * D^2}{4}\right)^2 * 2g} = \lambda_1 * \frac{8LQ^2}{\pi^2 g D^5}$$

$$D^5 = \lambda_1 * \frac{8LQ^2}{\pi^2 g hf} = C_1 * \lambda_1 \quad (4.17)$$

Donde C1:

$$C_1 = \frac{8LQ^2}{\pi^2 g hf} \quad (4.18)$$

Por otro lado tenemos que de la ecuación (4.15) reemplazamos en la ecuación (4.13):

$$R_e = \frac{4Q}{\pi v} * \frac{1}{D} = \frac{C_2}{D} \quad (4.19)$$

Donde C2:

$$C_2 = \frac{4Q}{\pi v} \quad (4.20)$$

C1 y C2 son cantidades conocidas.

La solución de este tipo de problemas se encuentra en base al siguiente procedimiento:

1. Se atribuye un cierto valor de λ (entre 0.02 y 0.040).
- 2.- Se calcula D en base a la ecuación 4.17
- 3.- Se calcula Re en la ecuación 4.19
- 4.- Se encuentra la rugosidad relativa K/D.

5.- Con Re y k/D se calcula con la ecuación de Fanno un nuevo valor de λ :

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{K_s}{\frac{D}{3.7}} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (4.21)$$

6.- Utilizando el nuevo λ se repite el proceso anterior.

7.- Cuando el valor de λ no cambia todas las ecuaciones se satisfacen y el problema está resuelto.

Normalmente uno o dos ensayos son necesarios. Cuando se usan tuberías de diámetro normalizado se toma la de diámetro superior al resultado obtenido, para mayor seguridad. Para nuestro diseño de las tuberías tenemos un caudal máximo diario de 1.76 lit/seg para cubrir las 22 parcelas.

En la Tabla 4.9 detallamos el caudal que se debe entregar a cada ramal.

Tabla 4.4.14 CAUDALES DE CADA TUBERÍA

TUBERIA	Nº aspersores	Q c/ramal	Q max
Tubería de Distribución	1	0,08 lit/seg	1,76 lit/seg
Tubería lateral 1	1	0,08 lit/seg	
Tubería lateral 2	8	0,62 lit/seg	
Tubería lateral 3	7	0,46 lit/seg	
Tubería lateral 4	6	0,54 lit/seg	
Tubería de Conducción	4 laterales	1,70 lit/seg	

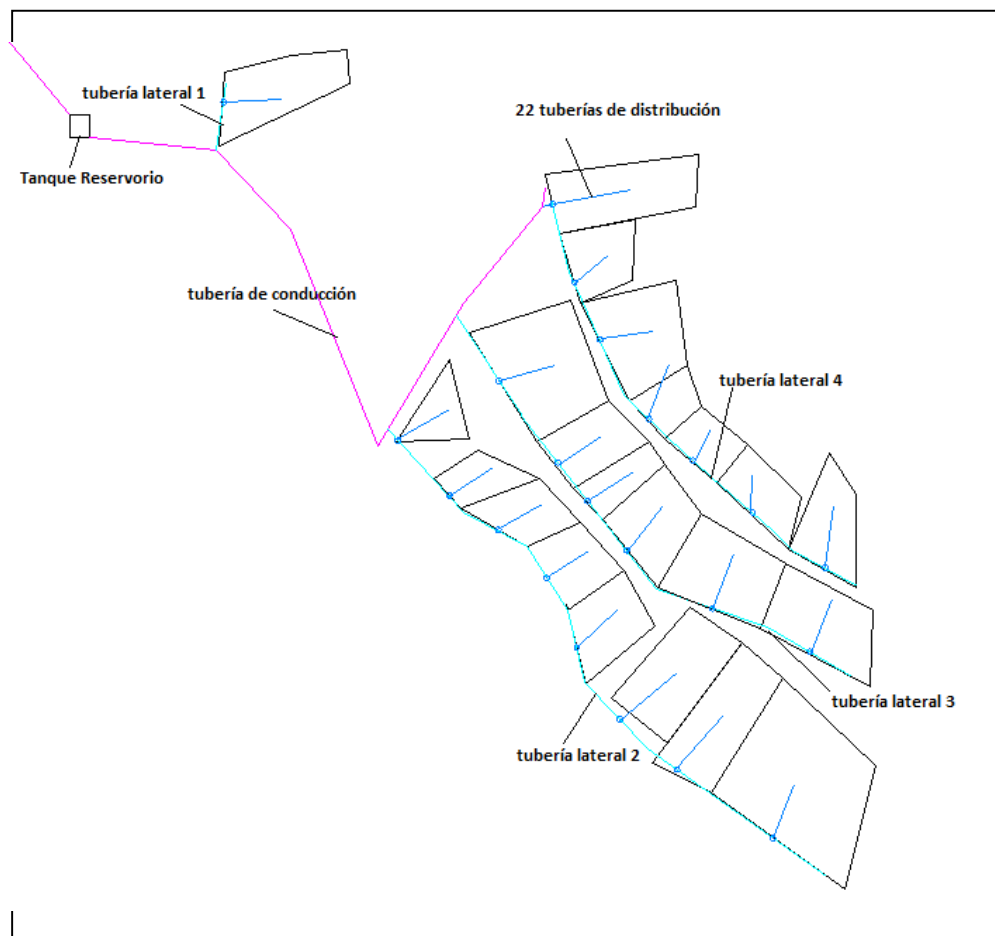


Figura 4.4.12 Redes de tuberías de las 22 parcelas

La temperatura del agua tiene en un promedio de 12°C , la viscosidad cinemática a esta temperatura es de 1.24×10^{-6} , interpolando valores del Anexo 3.3.

Por la teoría del Flujo Laminar (Pérdidas de carga por fricción) que fue desarrollada independientemente por HAGEN y POISEUILLE para el cálculo de las ecuaciones, consideraron una sección de tubo horizontal. Llegando así a obtener una ecuación que representa la pérdida de energía más crítica, esto aplicaremos en la Tabla 71 para el cálculo de los diámetros predimensionados de la tubería.

Tabla 4.4.15 PARÁMETROS INDISPENSABLES DE LAS TUBERÍAS DEL SISTEMA

TUBERIA	Q c/ramal	Longitud	Cota mayor	Cota menor	hf
Tubería lateral 1	0,08 lit/seg	25,69	3414	3403	11
Tubería lateral 2	0,62 lit/seg	223,71	3401	3384	17
Tubería lateral 3	0,46 lit/seg	162,26	3387	3366	21
Tubería lateral 4	0,54 lit/seg	180,36	3364	3359	5
Tubería de Conducción	1,70 lit/seg	315,5	3431,4	3363,4	68

4.3.4.1 Cálculo del diámetro de la tubería de conducción [20]

Utilizando las ecuaciones del análisis anterior tenemos:

$$C_1 = \frac{8(315.5m)(0.00170)^2}{\pi^2 \left(9.8 \frac{m}{s^2} \right) (68)} = 9.38 * 10^{-7}$$

Con ello asumimos un $l=0.03$ y determinamos el diámetro:

$$D^5 = 0.03 * 9.38 * 10^{-7}$$

$$D = 0.03149$$

Ahora encontramos Reynolds:

$$C_2 = \frac{4(0.00170)}{\pi(1.24 * 10^{-6})} = 1665.001$$

$$R_e = \frac{1665.001}{0.03149} = 58444.8711$$

Además encontramos K para tubería de PVC:

$$\frac{K}{D} = \frac{0.0000015}{0.03149}$$

Aplicando la ecuación de Fanno:

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{0.0000015}{\frac{0.03149}{3.7}} + \frac{5.74}{58444.8711^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.0204$$

Ahora iteramos nuevamente con este nuevo valor de $\lambda = 0.0204$

$$D^5 = 0.0204 * 9.38 * 10^{-7}$$

$$D = 0.0298$$

Ahora encontramos Reynolds:

$$R_e = \frac{1665.001}{0.0298} = 58205.509$$

Además encontramos K para tubería de PVC:

$$\frac{K}{D} = \frac{0.0000015}{0.0298}$$

Aplicando la ecuación de Fanno:

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{0.0000015}{\frac{0.0298}{3.7}} + \frac{5.74}{58205.509^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.02000$$

Con el valor de λ se obtiene un diámetro de 0.0298m, ahora en el catálogo de PLASTIGAMA con tubería PVC buscamos un diámetro interior al próximo superior por seguridad. (Ver Anexo 4.5), el diámetro comercial de tubería será de 40mm y un diámetro interno de 37.4mm.

Recalculamos todos los parámetros para determinar pérdidas primarias y secundarias:

$$V = 4 * \frac{0.0017}{\pi \cdot (0.0374)^2}$$

$$V = 1.55 \frac{m}{s}$$

$$R_e = \frac{1665.001}{0.0374} = 44518.761$$

Además encontramos K para tubería de PVC:

$$\frac{K}{D} = \frac{0.0000015}{0.0374}$$

Aplicando la ecuación de Fanno:

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\frac{0.0000015}{0.0374}}{3.7} + \frac{5.74}{44518.761^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.0213$$

La pérdida de energía se representa en las tuberías y pueden ser de dos clases:

- Pérdidas secundarias que se producen por los accesorios en la tubería como las debidas a codos, bifurcaciones, juntas de unión, válvulas, etc. y en caso especial para nuestro diseño tenemos: la pérdida a la entrada de un tubo desde un depósito como podemos apreciar en la Figura 4.11.
- Perdidas primarias a lo largo del conducto por el cual va el líquido (rozamiento del líquido a través de la longitud de las paredes del tubo).

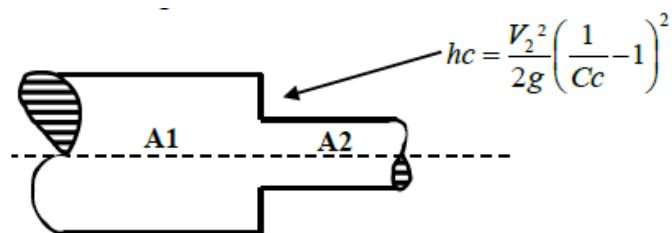


Figura 4.4.13 Reducción Brusca

Tabla 4.4.16 COEFICIENTES DE CONTRACCIÓN PARA EL AGUA (CC)
DETERMINADO POR WEISBACH

A2/A1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Cc	0.624	0.632	0.643	0.659	0.681	0.712	0.755	0.813	0.892	1.00

$$h_c = \frac{V^2}{2g} \left(\frac{1}{Cc} - 1 \right)^2 \quad (4.22)$$

Se requiere 2 reductores de 40mm a 32mm y además 2 reductores de 63mm a 40mm:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{32}{40} = 0.8$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{40}{63} = 0.6$$

$$h_c = \frac{1.55^2}{2 * 9.8} \left(\frac{1}{0.813} - 1 \right)^2 = 0.007 * 2 = 0.014$$

$$h_c = \frac{1.55^2}{2 * 9.8} \left(\frac{1}{0.712} - 1 \right)^2 = 0.002 * 2 = 0.004$$

Los valores son muy pequeños con lo cual se puede prescindir de su efecto en el análisis de la tubería.

En el catálogo de PLASTIGAMA para accesorios en tubería se determina sus coeficientes de pérdida en cantidad de longitud de tubería de PVC⁴⁰, en la tubería de conducción tenemos los siguientes elementos:

⁴⁰ Anexo 4.7

Tabla 4.4.17ACCESORIOS EN LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN

ELEMENTOS	DIÁMETRO	PÉRDIDA UNITARIA	CANTIDAD	PÉRDIDA TOTAL
Válvula de compuerta	40	0,4	1	0,4
Codo de 90°	40	2	3	6
Codo de 45°	40	1	5	5
Tee 40mm con reducción a 32mm	40	1,5	5	6
Unión Universal	40	0,5	5	2,5
Filtro de anillos de 140 MESH rosca macho de 2"			1	
Adaptador 63mm a 32 mm			2	
Reductor largo E/C 63mm a 40mm			4	
Adaptador macho C/R 40mm a 1 1/4 "			4	
Regulador de presión RH 1 a 1/4"			4	
Adaptador macho de 1" a 32mm			4	
Reductor largo E/C 40mm a 32mm			4	
Válvulas de aire	3/4"		2	
Adaptador hembra de	32		2	
Tapón hembra	40		1	
Tubería PVC longitud 6m	40mm		53	
				19,9 m

$$L_T = L + L_a$$

$$L_T = 315.5m + 19.9m$$

$$L_T = 335.4m$$

Se determina las pérdidas debido a la longitud de tubería:

$$h_r = \left(\lambda \frac{L}{D_s} \right) \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (4.23)$$

$$h_r = \left(0.0213 \frac{335.4}{0.0374} \right) \cdot \frac{1.55^2}{2 \cdot 9.8}$$

$$h_r = 21.19 mca$$

En los sistemas de riego debemos tener baja presión. Entendiendo en esto un límite superior práctico de 1,5 kg/cm² como máximo. La velocidad de agua en las tuberías, como valor máximo recomendable es de 2 m/seg. Bajo ninguna circunstancia la velocidad máxima deberá ser mayor a 5 m/s. La velocidad mínima recomendable es 0.6 m/s. Velocidades inferiores dan oportunidad a la sedimentación. Pérdida por fricción se define a la pérdida de energía producto de la resistencia que la tubería opone al paso del agua.

Ahora para realizar una investigación más real determinamos la pérdida de fricción en tubería mediante la ecuación de Hazen y Williams, la cual es la más ampliamente utilizada mediante la fórmula general tiene la siguiente expresión:

$$hf = J * L \quad (4.24)$$

Donde:

J = Pérdidas de carga por cada metro de tubería, expresada en metros.

L = Longitud de la tubería de conducción, en metros.

$$J = \frac{Q^{1.85}}{(0.28 * C)^{1.85} * d^{4.86}} \quad (4.25)$$

Donde:

Q = Caudal a transportar (m³/s).

d = Diámetro interior de la tubería (m) .

C = Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams tomando valores de la Tabla 4.13

Tabla 4.4.18 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE HAZEN – WILLIAMS PARA DIFERENTES MATERIALES

MATERIAL	C	MATERIAL	C
PVC	150	HORMIGÓN VIBRADO	130
ACERO	140	PLÁSTICO CORRUGADO	125
ASBESTO CEMENTO	135	POLIETILENO	120

Aplicando las ecuaciones (4.24) y (4.25) se determina:

$$J = \frac{0.0017^{1.85}}{(0.28 * 150)^{1.85} * 0.0374^{4.86}} = 0.0641$$

Por lo tanto las pérdidas son:

$$hf = 0.0641 * 315.5m$$

$$hf = 20.22mca$$

Se determina que mediante la fórmula de Hazen – Williams es la manera más rápida y confiable para determinar pérdidas en las tuberías.

4.3.4.1.1 Espesor de la tubería de PVC (e).

Para la utilización óptima del aspersor es necesaria la presión de 25 psi, y debido a las pendientes se tiene una presión distinta en varios puntos de las tuberías, es por ello que se adoptan reductores de presión en puntos donde sean necesarios, por lo tanto la presión de trabajo de las tuberías será la requerida.

$$e = \frac{P * D_i}{20} * \frac{1}{\sigma_{adm} * m} + c$$

Donde:

P : Presión interior de la tubería, kg/m²

$$P = 27.40 \text{ psi} * \frac{1.013 * 10^5 \frac{N}{m^2}}{14.7 \text{ psi}} * \frac{1 \text{ Kg}}{9.8 N} = 19267.11 \frac{\text{Kg}}{m^2}$$

σ_{adm} : Tensión máxima admisible. PVC , 28061 kg/cm²

m: Módulo de la junta o debilitación, 1

c: Constante del material, 1 mm

$$e = \frac{19267.11 * 0.0374}{20} * \frac{1}{28061 * 1} + 1 = 1.0013 \text{ mm}$$

La tubería debe tener un espesor de 1.0013 mm como mínimo.

Observando en el catálogo de PLASTIGAMA y para una tubería de 40 mm de diámetro nominal y 37.4 mm de diámetro interior tiene un espesor de 1.3mm, presión máxima que soporta es de 116 Psi > 27.4 Psi.

Toda la tubería de conducción se la analiza en la Tabla 4.14 con sus respectivas observaciones y parámetros en donde empiezan las tuberías laterales.

Tabla 4.4.19 TABLA DE ANÁLISIS DE TUBERÍA DE CONDUCCIÓN

ABSCISA	Longit Horizo (m)	Longit Desnive (m)	Longit Acumul (m)	Caudal m ³ /s	DIÁMETRO		C	J m/m	Hf m	V m/s
					Calculado	Comercial				
0+000,00	0	0,00	0,00							
0+043,77	43,77	47,33	47,33	0,00170	0,0374	40mm PVC 0,63Mpa	150	0,0641	3,03	1,55
0+081,08	37,31	37,36	84,69	0,00170	0,0374	40mm PVC 0,63Mpa	150	0,0641	5,43	1,55
0+160,85	79,77	80,39	165,08	0,00170	0,0374	40mm PVC 0,63Mpa	150	0,0641	10,58	1,55
0+217,57	56,72	6,80	171,88	0,00170	0,0374	40mm PVC 0,63Mpa	150	0,0641	11,01	1,55
0+259,97	45,28	48,02	219,90	0,00170	0,0374	40mm PVC 0,63Mpa	150	0,0641	14,09	1,55
0+259,98	43,4	51,20	271,10	0,00170	0,0374	40mm PVC 0,63Mpa	150	0,0641	17,37	1,55
0+259,99	44,4	44,40	315,50	0,00170	0,0374	40mm PVC 0,63Mpa	150	0,0641	20,22	1,55

COTAS			PRESIONES			Reductor Presión	OBSERVACIONES	PUNTOS
Terreno	Piezome trico	Proyecto	Estática	Dinámica	Dinámica psi			
3.432,00	3.432,00	3.431,40	12,38	9,35	13,55			INICIO
3.414,00	3.428,97	3.413,40	30,38	24,95	36,18	10,00	Regulador de presión a 10 PSI	Entrada Lateral 1
3.412,00	3.426,57	3.411,40	32,38	21,80	31,61	12,90		Tramo 1
3.402,00	3.421,42	3.401,40	42,38	31,37	45,48	27,40	Codo de 90°	Tramo 2
3.401,00	3.420,99	3.400,40	43,38	29,29	42,47	10,00	Regulador de presión a 10 PSI	Entrada Lateral 2
3.385,00	3.417,91	3.384,40	59,38	42,01	60,91	10,00	Regulador de presión a 10 PSI	Entrada Lateral 3
3.364,00	3.414,63	3.363,40	80,38	60,16	87,24	10,00	Regulador de presión a 10 PSI	Entrada Lateral 4
3.364,00	3.411,78	3.363,40	80,38	80,38	116,55	10,00		Válvula de Aire

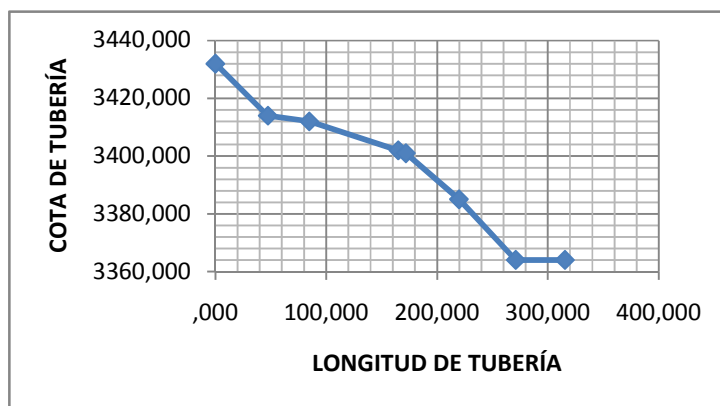


Figura 4.4.14 Gráfica de cota vs longitud de tubería en la conducción

4.3.4.2 Cálculo del diámetro de la tubería lateral 2

Se realiza el análisis de la tubería lateral 2 debido a que es la de mayor caudal y guiándose con el cálculo tipo anterior y con datos de la Tabla 70, se determina en la Tabla 76 los valores de Tubería siguientes:

Utilizando la ecuación 4.18 y datos de la Tabla 4.10 se determina:

Tabla 4.4.20 CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA LATERAL 2

C1	Lasumido	Diámetro	C2	Reynols	k/D	1calcula
4,18*10 ⁻⁷	0,03	0,02628	607,157	23098,46	0,000005707	0,0249
	0,0249	<u>0,025</u>		23974,53	0,00006	0,0246

Con el valor de λ se mantiene para ello se tiene un diámetro de 0.025m, ahora en el catálogo de PLASTIGAMA con tubería PVC buscamos un diámetro interior al próximo superior por seguridad⁴¹, el diámetro comercial de tubería será de 32mm y un diámetro interno de 29.4mm.

Ahora determinamos los elementos en la tubería lateral 2 para ver la cantidad de pérdida en metros de columna de agua que se muestra en la siguiente Tabla 4.16:

Tabla 4.4.21 ACCESORIOS EN LA TUBERÍA LATERAL 2

ELEMENTOS	DIÁMETRO	PÉRDIDA UNITARIA	CANTIDAD	PÉRDIDA TOTAL
Válvula de bola con universal soldable	32mm	15	1	15
Codos de 45°	32mm	0.7	5	3.5
Unión 3/4	32mm	0.4	8	3.2
Collarín de 32mm a 3/4"			10	
Válvula y bayoneta de acople rápido de 3/4"			8	
Adaptador roscado	3/4"		8	

⁴¹ Anexo 4.5

Adaptador hembra de 25mm a 1/2"			8	
Tapón hembra	32mm		8	
Válvulas de aire BVK	1"		1	
Tubería PVC longitud 6m	32mm		38	
				20.7m

Recalculamos los parámetros para determinar pérdidas primarias y secundarias:

Tabla 4.4.22PÉRDIDAS EN LA TUBERÍA LATERAL 2

Diámetro	Espesor Tubería	Espesor Teórico	Velocid	Reynol	K/D	Li	Lt	La	Long Total	Pérdi Total
0,0294	1,3	1,0013	0,91	20651,617	5,10204E-05	0,0256	223,71	20,7	244,41	8,49

Toda la tubería se la analiza en la Tabla 4.18 con sus respectivas observaciones y parámetros en donde salen los hidrantes para cada lote:

Tabla 4.4.23 TABLA DE ANÁLISIS DE TUBERÍA LATERAL 2

ABSCISA	Código Hidran	Longitud Horizo (m)	Longitud Denivel (m)	Longitud Acumul (m)	Caudal m3/s	DIAMETRO		C	J m/m	Hf m	Velocid m/s
						Calcula	Comercial				
0+000,00		0	0,00	0,00							
0+05,40	HL8	5,4	5,76	5,76	0,00062	0,0294	32mm PVC 0,8 Mpa	150	0,0319	0,18	0,91
0+031,16	HL9	25,76	25,93	31,69	0,00062	0,0294	32mm PVC 0,8 Mpa	150	0,0319	1,01	0,91
0+052,11	HL10	20,95	21,79	53,48	0,00062	0,0294	32mm PVC 0,8 Mpa	150	0,0319	1,71	0,91
0+76,14	HL11	24,03	24,22	77,70	0,00062	0,0294	32mm PVC 0,8 Mpa	150	0,0319	2,48	0,91
0+102,28	HL12	26,14	26,61	104,31	0,00062	0,0294	32mm PVC 0,8 Mpa	150	0,0319	3,33	0,91
0+132,19	HL13	29,91	29,93	134,24	0,00062	0,0294	32mm PVC 0,8 Mpa	150	0,0319	4,29	0,91
0+158,4	HL14	26,21	26,23	160,47	0,00062	0,0294	32mm PVC 0,8 Mpa	150	0,0319	5,13	0,91
0+198,87	HL15	40,47	40,52	200,99	0,00062	0,0294	32mm PVC 0,8 Mpa	150	0,0319	6,42	0,91
0+221,57		22,63	22,72	223,71	0,00062	0,0294	32mm PVC 0,8 Mpa	150	0,0319	7,15	0,91

COTAS			PRESIONES			Redu tores	Altura Hidrante - Aspensor		Presión Aspensor sin Reduct	Presión Aspensor con Reducto	OBSERVACIONES
Terreno	Piezomé tricas	Proyecto	Está tica	Diná mica	Diná mica psi		mca	psi			
3.401,00	3.401,00	3.399,80	0,00	0,00	10						Inicio de Tubería
3.399,00	3.400,82	3.397,80	2,00	11,82	12,63	10		14,5	27,13	24,5	Regulador de presión a 10 PSI
3.396,00	3.399,99	3.394,80	5,00	13,99	15,78	10	10,0	13,05	28,83	23,05	Regulador de presión a 10 PSI
3.390,00	3.399,29	3.388,80	11,0	19,29	23,47	10	9,00	7,25	30,72	24,92	Regulador de presión a 10 PSI
3.387,00	3.398,52	3.385,80	3,00	21,52	26,70	17,67	5,00	7,25	33,95	17,25	
3.382,00	3.397,67	3.380,80	19,0	25,67	32,72	10	5,00	11,6	44,32	21,6	Regulador de presión a 10 PSI
3.383,00	3.396,71	3.381,80	18,0	23,71	29,88	10	8,00	13,05	42,93	20,25	Regulador de presión a 10 PSI
3.384,00	3.395,87	3.382,80	17,0	21,87	27,22	7,2	9,00	15,95	43,17	20,95	
3.382,00	3.394,58	3.380,80	19,0	22,58	28,24	5	11,0	18,85	47,09	24,93	
3.384,00	3.393,85	3.382,80	17,0	19,85	24,29	6,08	13,0				Filtro de Aire

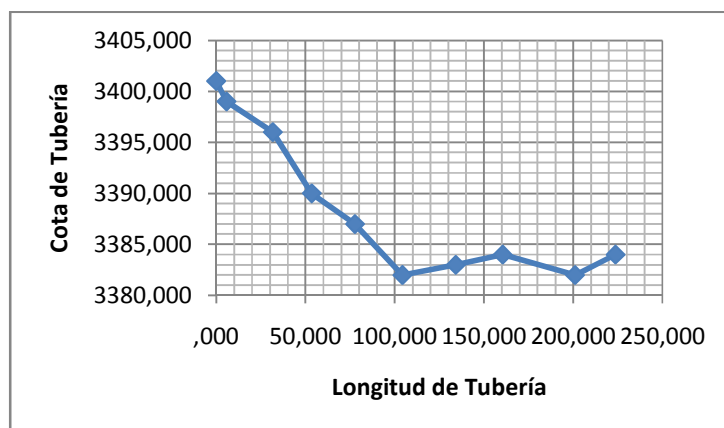


Figura 4.4.15 Gráfica de cota vs longitud de tubería en la lateral 2

En esta tabla se encuentra adicional la presión estática del aspersor respecto al hidrante para sumarla conjuntamente en el análisis de cada hidrante por lote, de tal modo que se llegue a obtener la presión requerida de 25 psi con un promedio de más o menos 5 psi.

4.3.4.3 Cálculo del diámetro de la tubería lateral 3

Se realiza el análisis de la tubería lateral 3 debido a que es la segunda de mayor caudal y guiándose con el cálculo tipo anterior y con datos de la Tabla 4.9, se determina en la Tabla 4.19 los valores de Tubería siguientes:

Utilizando la ecuación (4.18) y datos de la Tabla 4.10 se determina:

Tabla 4.4.24 CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA LATERAL 3

C1	Lasumido	Diámetro	C2	Reynols	k/D	1 calcula
1.63*10 ⁻⁷	0,03	0,020749	455.32	22663.612	0,000005421	0,02502
	0,02502	<u>0,021</u>		21670.547	0,0000586	0,0253

Con λ se obtiene un diámetro de 0.021m, del catálogo de PLASTIGAMA con tubería PVC buscamos un diámetro interior al próximo superior por seguridad⁴², el diámetro comercial de tubería será de 25mm y un diámetro interno de 22.4mm

Toda la tubería del lateral 3 se la analiza en la Tabla 4.20 con sus respectivos accesorios y parámetros en donde salen los hidrantes para cada lote:

Tabla 4.4.25 ACCESORIOS EN LA TUBERÍA LATERAL 3

ELEMENTOS	DIÁMETRO	PÉRDIDA UNITARIA	CANTIDAD	PÉRDIDA TOTAL
Válvula de bola con universal soldable	25	15	1	15
Codos de 45°	25	0,5	3	1,5
Collarín de 25mm a 3/4			8	
Unión	3/4"		6	
Válvula y bayoneta de acople rápido de 3/4	3/4"		6	
Adaptador roscado	3/4"		6	
Adaptador hembra 25mm a 1/2"			6	
Tapón hembra	25		1	
Válvula de aire BVK	1"		2	
Tubos PVC de 6m	25mm		32	
				16,5

Recalculamos los parámetros para determinar pérdidas primarias y secundarias mostradas en la Tabla 4.21:

⁴² Anexo 4.5

Tabla 4.4.26 PÉRDIDAS EN LA TUBERÍA LATERAL 3

Diámetro	Espesor Tubería	Espesor Teórico	Velocid	Reynol	K/D	Li	Lt	La	Long Total	Pérdi Total
0,0224	1,3	1,0013	1.18	20327.187	5,8304E-05	0,02571	192.261	16.5	208.76	15.01

Toda la tubería se la analiza en la Tabla 4.22 con sus respectivas observaciones y parámetros en donde salen los hidrantes para cada lote:

Tabla 4.4.27 TABLA DE ANÁLISIS DE TUBERÍA LATERAL 3

ABSCISA	Código Hidran	Longitud Horizo (m)	Longitud Denivel (m)	Longitud Acumul (m)	Caudal m3/s	DIAMETRO		C	J m/m	Hf m	Velocid m/s Calcula
						Calcula	Comercial				
0+000,00		0	0,00	0,00							
0+026,5	HL2	26,5	27,68	27,68	0,00046	0,0224	25mm PVC 1,25Mpa	150	0,0705	1,95	1,18
0+61,00	HL3	34,5	34,63	62,31	0,00046	0,0224	25mm PVC 1,25Mpa	150	0,0705	4,39	1,18
0+82,60	HL4	16,58	16,85	79,16	0,00046	0,0224	25mm PVC 1,25Mpa	150	0,0705	5,58	1,18
0+119,85	HL5	21,6	21,69	100,85	0,00046	0,0224	25mm PVC 1,25Mpa	150	0,0705	7,11	1,18
0+157,10	HL6	37,25	37,25	138,10	0,00046	0,0224	25mm PVC 1,25Mpa	150	0,0705	9,73	1,18
0+193,87	HL7	36,77	37,63	175,73	0,00046	0,0224	25mm PVC 1,25Mpa	150	0,0705	12,38	1,18
0+210,37		16,5	16,53	192,26	0,00046	0,0224	25mm PVC 1,25Mpa	150	0,0705	13,55	1,18

COTAS			PRESIONES			Reduc tor	Altura Hidrante - Aspersor		Presión Aspersor sin Reduct	Presión Aspersor con Reducto	OBSERVACIONES
Terreno	Piezomé tricas	Terreno	Piezomé tricas	Terreno	Dinám psi		mca	psi			
3.387,0	3.387,00	3.385,8	0,00	0,00	10						Inicio de Tubería
3.379,0	3.385,05	3.377,8	8,00	6,04	18,77	10	11,00	15,95	34,72	25,95	Regulador de presión a 10 PSI
3.376,0	3.382,61	3.374,8	11,00	6,67	19,58	10	9,00	13,05	32,63	23,05	Regulador de presión a 10 PSI
3.373,0	3.381,42	3.371,8	14,00	8,44	22,21	14.01	5,00	7,25	29,46	21,26	
3.375,0	3.379,89	3.373,8	12,00	4,89	17,09	10.53	9,00	13,05	30,14	23,58	
3.375,0	3.377,27	3.373,8	12,00	2,26	13,29	9.02	13,00	18,85	32,14	27,87	
3.367,0	3.374,62	3.365,8	20,00	7,61	21,04	10	11,00	15,95	36,99	25,95	Regulador de presión a 10 PSI
3.366,00	3.373,45	3.364,80	21,00	7,45	20,80			0	20,80	0	Válvula de Aire

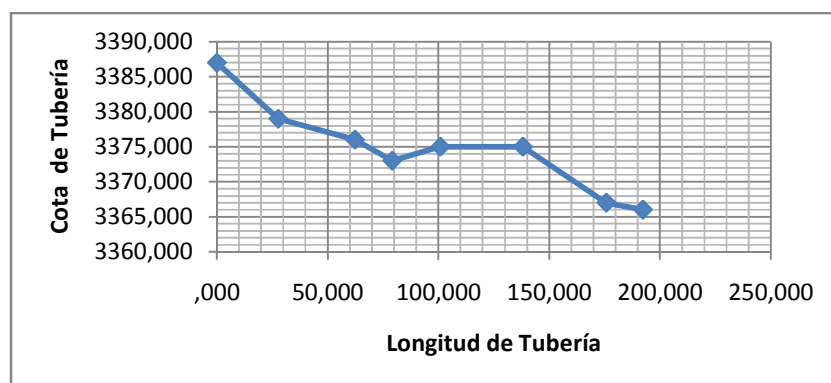


Figura 4.4.16 Gráfica de cota vs longitud de tubería en la lateral 3

4.3.4.4 Cálculo del diámetro de la tubería lateral 4

Se realiza el análisis de la tubería lateral 4 debido a que es la tercera de mayor caudal y guiándose con el cálculo tipo anterior y con datos de la Tabla 4.9, se determina en la Tabla 4.23 los valores de tubería siguientes:

Utilizando la ecuación (4.18) y datos de la Tabla 4.10 se determina:

Tabla 4.4.28 CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA LATERAL 4

C1	1asumido	Diámetro	C2	Reynols	k/D	1calcula
3.98*10 ⁻⁷	0,03	0,0260	531.233	20401.935	0,000005769	0,0283
	0,0283	<u>0,02574</u>		20636.615	0,00005837	0,0281

Con λ se obtiene un diámetro de 0.0257m, del catálogo de PLASTIGAMA con tubería PVC buscamos un diámetro interior al próximo superior por seguridad⁴³ el diámetro comercial de tubería será de 32mm y un diámetro interno de 29.4mm.

Ahora determinamos los elementos en la tubería lateral 4 para ver la cantidad de pérdida en metros de columna de agua que se muestra en la siguiente Tabla 4.24:

Tabla 4.4.29 ACCESORIOS EN LA TUBERÍA LATERAL 4

ELEMENTOS	DIÁMETRO	PÉRDIDA UNITARIA	CANTIDAD	PÉRDIDA TOTAL
Válvula de bola con universal soldable	32	15	1	15
Codos de 45°	32	0,5	3	1,5
Collarín de 32mm a 3/4			9	
Unión	3/4"		7	
Válvula y bayoneta de acople rápido de 3/4	3/4"		7	
Adaptador roscado	3/4"		7	
Adaptador hembra 32mm a 1/2"			7	
Tapón hembra	32		1	
Válvula de aire BVK	1"		1	
Tubos PVC de 6m	25mm		31	
				16,5

⁴³ Anexo 4.5

Recalculamos los parámetros para determinar pérdidas primarias y secundarias en la Tabla 4.25:

Tabla 4.4.30 PÉRDIDAS EN LA TUBERÍA LATERAL 4

Diámetro	Espesor Tubería	Espesor Teórico	Velocid	Reynol	K/D	Li	Lt	La	Long Total	Pérdi Total
0,0294	1,3	1,0013	0,8	18.69.165	5,47604E-05	0,0264	180.36	16.5	196.86	5.77

Toda la tubería se la analiza en la Tabla 4.26 con sus respectivas observaciones y parámetros en donde salen los hidrantes para cada lote:

Tabla 4.4.31. TABLA DE ANÁLISIS DE TUBERÍA LATERAL 4

ABSCIS	Código Hidran	Longitu Horizo (m)	Longitu Denivel (m)	Longitu Acumul (m)	Caudal m3/s	DIÁMETRO		C	J m/m	Hf m	Velocid m/s Calcula
						Calcula	Comercial				
0+000		0	0,00	0,00							
0+003,41	HL16	3,41	3,55	3,55	0,00054	0,0294	32mm PVC 0,8Mpa	150	0,0249	0,09	0,80
0+031,07	HL17	27,68	27,75	31,30	0,00054	0,0294	32mm PVC 0,8Mpa	150	0,0249	0,78	0,80
0+052,56	HL18	21,49	22,06	53,36	0,00054	0,0294	32mm PVC 0,8Mpa	150	0,0249	1,33	0,80
0+084,73	HL19	32,17	32,19	85,55	0,00054	0,0294	32mm PVC 0,8Mpa	150	0,0249	2,13	0,80
0+105,58	HL20	20,85	20,95	106,50	0,00054	0,0294	32mm PVC 0,8Mpa	150	0,0249	2,66	0,80
0+133,19	HL21	27,61	28,06	134,56	0,00054	0,0294	32mm PVC 0,8Mpa	150	0,0249	3,36	0,80
0+164,02	HL22	30,83	32,12	166,68	0,00054	0,0294	32mm PVC 0,8Mpa	150	0,0249	4,16	0,80
0+177,1		13,08	13,68	180,36	0,00054	0,0294	32mm PVC 0,8Mpa	150	0,0249	4,50	0,80

COTAS			PRESIONES			Reduc tor	Altura Hidrante - Aspensor		Presión Aspensor sin Reduct	Presión Aspensor con Reducto	OBSERVACIONES
Terreno	Piezomé tricas	Terreno	Piezomé tricas	Terreno	Piezomé tricas		mca	psi			
3.364,00	3.364,00	3.362,80	0,00	0,00	10						Inicio de Tubería
3.363,00	3.363,91	3.361,80	1,00	0,91	11,32	11,45	10,00	14,5	25,82	25,95	
3.361,00	3.363,22	3.359,80	3,00	2,22	13,22	14,34	5,00	7,25	20,47	21,59	
3.356,00	3.362,67	3.354,80	8,00	6,67	19,67	10	8,00	11,6	31,27	21,6	Reductor de presión a 10 PSI
3.355,00	3.361,87	3.353,80	9,00	6,87	19,96	11,44	6,00	8,7	28,66	20,14	
3.353,00	3.361,34	3.351,80	11,00	8,34	22,10	14,34	6,00	8,7	30,80	23,04	
3.358,00	3.360,64	3.356,80	6,00	2,64	13,83	7,08	7,00	10,15	23,98	17,23	
3.349,00	3.359,84	3.347,80	15,00	10,84	25,72	20,12	2,00	2,9	28,62	23,02	
3.353,00	3.359,50	3.351,80	11,00	6,50	19,43	14,32		0	19,43	14,32	Válvula de aire

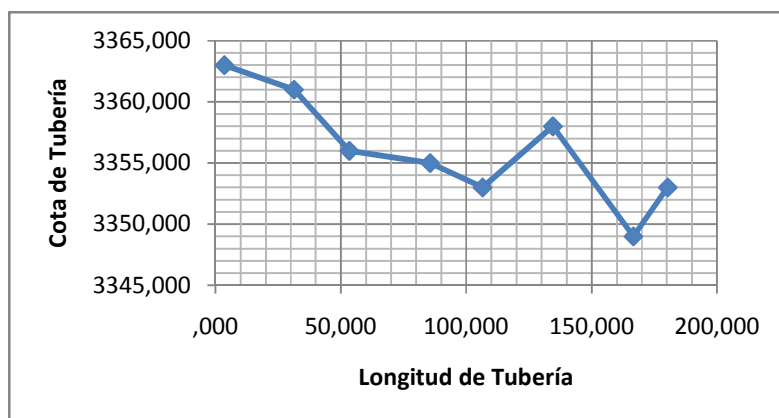


Figura 4.4.17 Gráfica de cota vs longitud de tubería en la lateral 4

4.3.4.5 Cálculo del diámetro de la tubería lateral 1

Se realiza el análisis de la tubería lateral 1 y guiándose con el cálculo tipo anterior y con datos de la Tabla 4.9, se determina en la Tabla 4.27 los valores de Tubería como es la de menor caudal tomamos la tubería de menor diámetro con los siguientes valores con sus accesorios:

Tabla 4.4.32ACCESORIOS EN LA TUBERÍA LATERAL 1

ELEMENTOS	DIÁMETRO	PÉRDIDA UNITARIA	CANTIDAD	PÉRDIDA TOTAL
Válvula de bola con universal soldable	25	11,4	1	11,4
Collarín de 25mm a 3/4			2	
Unión	3/4"		3	
Válvula y bayoneta de acople rápido de 3/4	3/4"		1	
Adaptador roscado	3/4"		5	
Adaptador hembra 25mm a 1/2"			2	
Tapón hembra	25		1	
Válvula de aire BVK	1"		1	
Tubos PVC de 6m	25		5	
				11,4

Recalculamos los parámetros para determinar pérdidas primarias y secundarias en la Tabla 4.28.

Tabla 4.4.33PÉRDIDAS EN LA TUBERÍA LATERAL 1

C1	1asumido	Diámetro	C2	Reynols	k/D	1calcula	C1	1asumido	Diámetro	C2
0,025	1,3	1,0007	0,2	3388.593	6,10204E-05	0,0427	25.69	11.4	37.09	0.15

Toda la tubería se la analiza en la Tabla 4.29 con sus respectivas observaciones y parámetros en donde salen los hidrantes para cada lote:

Tabla 4.4.34 TABLA DE ANÁLISIS DE TUBERÍA LATERAL 1

ABSCIS	Código Hidran	Longitu Horizo (m)	Longitu Denivel (m)	Longitu Acumul (m)	Caudal m ³ /s	DIAMETRO		C	J m/m	Hf m	Veloci m/s
						Calcul	Comercial				
0+000,00		0	0,00	0,00							
0+016,55	HL1	16,55	18,38	18,38	0,00008	0,0224	25mm PVC 0,8 Mpa	150	0,0026	0,05	0,20
0+023,22		6,67	7,31	25,69	0,00008	0,0224	32mm PVC 0,8 Mpa	150	0,0026	0,07	0,20

OTAS			PRESIONES			Redu ctore	Altura Hidrante - Aspersor		Presió Aspers or sin Reduct	Presió Aspers or con Reduct	OBSERVACIONES
Terreno	Piezomé tricas	Terreno	Piezomé tricas	Terreno	Piezom tricas		mca	psi			
3.414,00	3.414,00	3.412,80	0,00	0,00	10						Inicio Tubería
3.406,00	3.413,95	3.404,80	8,00	7,95	11,53	10	12	17,4	28,93	27,4	Reductor de presión a 10 PSI
3.403,00	3.413,93	3.401,80	11,00	10,93	15,85	14,35			15,85	14,35	Válvula de aire

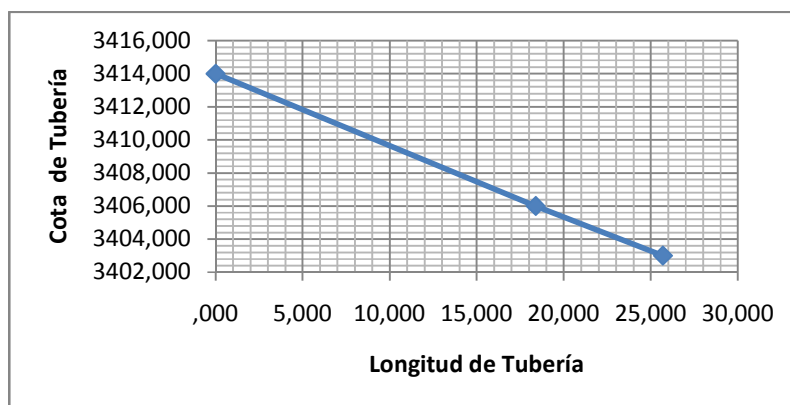


Figura 4.4.18 Gráfica de cota vs longitud de tubería en la lateral 1

4.3.4.6 Tubería de distribución

Para el proyecto se ha diseñado un sistema de aspersión semifijo que permita que el agricultor pueda manejar de una manera sencilla el sistema de riego parcelario, en las laterales irán colocados collarines de diámetro a 3/4", en donde se colocará una válvula de

acople rápido y bayoneta con una unión de 3/4", la misma que será unida con un adaptador a flex de 1/2" o 20 mm con una aspersor x cel wobbler por lote.

El caudal que pasará por la tubería flex será de 1.23 GPM o 0.08 lt/seg ya que al final de la tubería se encontrara el aspersor, por tanto las pérdidas de energía son cero como se presenta en la tabla del Anexo 4.8.

4.3.4.7 Elementos indispensables para el proyecto

4.3.4.7.1 Selección del regulador de presión [2]

Estos reguladores de presión estarán instalados como un elemento de la tubería , estarán enterrados en el suelo ubicadas en los ramales de distribución de acuerdo al cuadro de la Tablas 77, 81, 83, 85, 87 y 89 estudiadas anteriormente donde se utiliza reguladores de Presión RH – 1 a 1 1/4" para sistemas de riego por goteo y aspersión ver Anexo 4.9



Figura 4.4.19Regulador de presión RH – 1 a 1 1/4"

Y las características y aplicaciones a ese importante elemento son:

- Conexión de entrada rosca hembra de 1 1/4" y salida con rosca hembra de 1", para medianos caudales de 10 a 32 GPM.
- Para aumentar el caudal, instale múltiples reguladores de presión en paralelo para módulos de mediano y alto caudal.
- Mantienen la presión dinámica constante, cualquiera que sea la presión de entrada (especial para sistemas con cintas de riego a baja presión).
- Módulos más económicos que las válvulas hidráulicas con piloto regulador.
- Disponible en 10 y 50 PSI.

- Mantienen la presión de salida constante aún con presiones dinámicas de entrada mayores de 100 PSI.
- No necesita ajuste.
- Mantienen la presión dinámica constante, cualquiera que sea la presión de entrada.
- Módulos más económicos que las válvulas hidráulicas con piloto regulador.

Por lo que se analizó siempre antes de la entrada a cada tubería lateral serán colocados reguladores de presión de 10 psi y en algunas parcelas antes del hidrante respectivo.



Figura 4.4.20Regulador de presión RH – 1 a 1 1/4”

4.3.4.7.2 Selección de la válvula de aire y vacío [2]

Para la selección de la válvula de aire se la realiza mediante la asesoría de técnicos de ISRARIEGO y CENTRO EXPERIMENTAL DE RIEGO ESPOCH, ya en las conducciones hidráulicas es esencial evitar la formación de burbujas de aire o vacíos de aire dentro del sistema de riego. Tanto las condiciones derivadas de la formación de burbujas de aire como de vacíos de aire contribuyen a que se generen problemas de rendimiento y posibles daños al equipo.

Las válvulas de aire estarán instaladas, al inicio y al final de cada una de las tuberías de conducción y laterales, se insertaran mediante un collarín en este caso se realiza la selección de la Válvula de evacuación de aire y alivio de vacío de aire de 3/4” macho, ver Anexo 4.10



Figura 4.4.21. Válvula plástica de aire BVK

Las aplicaciones de este tipo de Válvulas son las siguientes:

- En la salida de la bomba para descargar el aire durante la puesta en marcha del sistema, y para introducir aire en el sistema de riego, durante el apagado del sistema.
- Válvulas flujo abajo, para brindar alivio de vacío durante el apagado de la válvula.
- En el punto más alto de la pendiente, para brindar alivio de vacío durante el apagado del sistema.
- Todos los puntos altos del sistema de riego, para ofrecer alivio continuo de aire en grandes volúmenes.
- En las conducciones principales, cada 300 metros, para introducir grandes volúmenes de aire en el sistema de riego durante el apagado y evitar el colapso de los tubos.

4.3.4.7.3 Selección del hidrante [2]

Los hidrantes son implementos de riego que se construyen de varios accesorios la misma que está enterrada, se inserta una válvula de acople rápido con bayoneta con la ayuda de un collarín.



Figura 4.4.22 Válvula y bayoneta de acople rápido

- Válvula de acople rápido, rosca macho de $\frac{3}{4}$ " y 1".
- Bayoneta de acople rápido, rosca macho de $\frac{3}{4}$ " y 1".
- Ideal para una apertura rápida y hermética.

Parte esencial también es el collar de derivación en donde la selección va a depender del diámetro de la línea lateral que nos encontremos pero según el catálogo de PLASTIGAMA⁴⁴ tenemos:

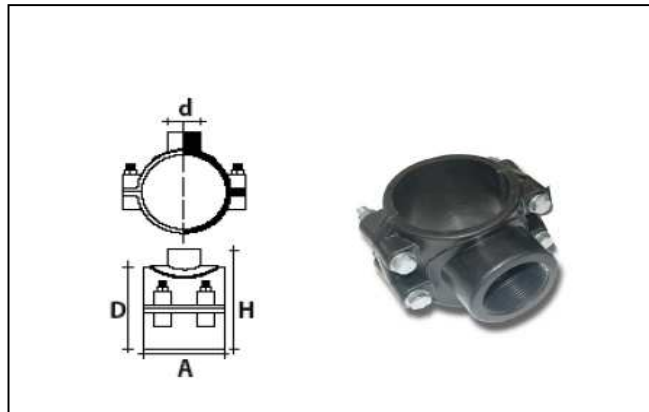


Figura 4.4.23. Collarín de Derivación

4.4 Diseño de obras civiles [9] [23]

Los tanques de almacenamiento pueden ser construidos directamente sobre la superficie del suelo o sobre torre cuando por razones de servicio se requiera elevarlos. En el primer caso, los estanques son generalmente de concreto armado, de forma rectangular y dividida en varias celdas para facilitar su limpieza; o de forma cilíndrica; o de pirámide truncada como en nuestro caso.

⁴⁴ Anexo 4.12

Dimensiones del reservorio:

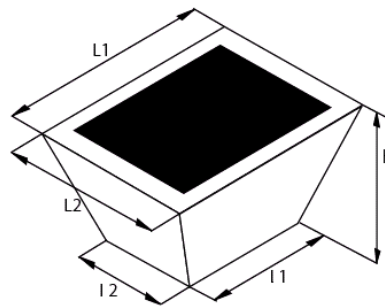


Figura 4.4.24 Tanque Reservorio.

4.4.1 Volumen del tanque reservorio

Se debe demostrar que el volumen de agua disponible es igual o mayor al volumen requerido por lo tanto tenemos que el agua de la toma Pilispugyo tiene un caudal de 0.3 lit/seg y la cantidad de agua que tendríamos en un día será de:

$$Q_d = 0.3 \frac{\text{lit}}{\text{seg}} * \frac{1m^3}{1000lt} * \frac{3600seg}{1h} * \frac{24h}{1dia} = 25.92m^3 / dia * 1dia$$

$$Q_d = 25.92m^3$$

Ahora el caudal requerido ya se calculó en el calendario de riego del cultivo de la alfalfa:

$$Q_r = 19.1m^3$$

Por lo tanto se cumple que:

$$Q_r \leq Q_d$$

$$19.1 \leq 25.92$$

Se pretende llenar el tanque en dos días y para economizar recursos el volumen del tanque reservorio será de 40 m³.

4.4.2 Dimensionamiento del tanque reservorio

Asumo la relación $L_2/L_1 = 1$, $h = 2$ m, $P = 0.5$ y $V_t = 40$ m³.

$$L_1 = \frac{\left(1 + \frac{L_2}{L_1}\right) \times h \times P + \sqrt{\left[\left(1 + \frac{L_2}{L_1}\right) \times h \times P\right]^2 - 4 \times (L_2 / L_1) \times \left[2 \times (h \times P)^2 - \left(\frac{V_t}{h}\right)\right]}}{2 \times \left(\frac{L_2}{L_1}\right)} \quad (4.26)$$

$$L_1 = \frac{(1+1) \times 2 \times 0.5 + \sqrt{[(1+1)2 \times 0.5]^2 - 4 \times 1 \times [2 \times (2 \times 0.5)^2 - \left(\frac{40}{2}\right)]}}{2 \times 1}$$

$$L_1 = 5.35 \text{ m} \approx 5.50 \text{ m}$$

Ajustando $L_1 = 5.5$ m

$$L_2 = 1 \times L_1$$

$$L_2 = 1 \times 5.5 = 5.5 \text{ m}$$

$$I_1 = L_1 - 2 \times h \times P \quad (4.27)$$

$$I_1 = 5.5 - 2 \times 2 \times 0.5 = 3.5 \text{ m}$$

$$I_1 = 3.5 \text{ m}$$

$$I_2 = L_2 - 2 \times h \times P \quad (4.28)$$

$$I_2 = 5.5 - 2 \times 2 \times 0.5 = 3.5 \text{ m}$$

$$I_2 = 3.5 \text{ m}$$

$$V_d = \frac{(L_1 \times L_2 + I_1 \times I_2) \times h}{2} \quad (4.29)$$

$$V_d = \frac{(5.5 \times 5.5 + 3.5 \times 3.5) \times 2}{2} = 42.5 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{requerido}} < V_{\text{disponible}}$$

$$40 < 42.5 \text{ [m}^3\text{]}$$

El volumen disponible en el tanque es mayor que el volumen requerido en función de las medidas dadas, por lo tanto el plano civil el Plano “Tanque reservorio para aspersión”, además se recomienda se realice un mallado alrededor del tanque para evitar cualquier accidente.

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de costos de un proyecto es una fuente de costos y beneficios que ocurren en diferentes períodos de tiempos. La cual nos interesa para realizar la toma de decisiones en torno a la conveniencia de ejecutar o no determinado proyecto es identificar los costos y beneficios atribuidos al mismo, con el objetivo de señalar si es conveniente o no su ejecución. A este enfoque se le denomina Análisis de proyectos.

Antes de tomar la decisión de llevar a cabo un proyecto, es importante conocer los costos de cada una de las obras que lo conforman para poder llevar a cabo el análisis económico y de factibilidad.

5.1 Análisis de costos del proyecto de turbo-bombeo

5.1.1 Costos de Inversión

5.1.1.1 Costos directos

Son los cargos por concepto de material, de mano de obra y de gastos, correspondientes directamente a la construcción, adquisición de equipos y accesorios y puesta en marcha del sistema de turbo-bombeo en la comunidad de "San Francisco de Cunuguachay"

Para analizar los costos directos de nuestro proyecto se consideran los siguientes aspectos:

- Costo de Materiales
- Costo de Mano de Obra
- Costo de Equipos y Maquinaria
- Costos de transporte

5.1.1.1.1 Costos de materiales

A continuación se detalla los costos de los diferentes materiales necesarios para construcción del proyecto. Se debe aclarar que en esta lista están incluidos los materiales necesarios para la obra civil, obra hidráulica y mecánica.⁴⁵

Tabla 5.1COSTO DE MATERIALES

SISTEMA DE TURBOBOMBEO DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY					
TABLA DE HORAS Y PRECIOS DE MATERIALES ESTIMADOS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO					
No	DENOMINACION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	SUBTOTAL (USD)
1	CONJUNTO TURBOBOMBAMODELO Betta P500/2x160	u	1	26540	26540,00
2	Pipe ø6" sch std metro	m	270	51,01	13772,70
3	Pipe a-53 gr. B ø3" sch 40	m	300	21,08	6324,00
4	Pintura poliuretano	gls	40	110,00	4400,00
5	JUNTA DE EXPANSION Ø6" PARA TUBERIA A-53 grb	u	6	787,5	4725,00
6	Pintura zinc inorgánico - carbozinc 11	gls	12,4	105,00	1302,00
7	Brida ø6" wnrf 150#	u	6	98,5	591,00
8	TUB PVC EC 75mm x 6m 0,63mpa(91psi)	m	420	2,75	1155,00
9	Válvula compuerta bridada hf 2.5"clase150	u	2	340,2	680,40
10	Válvula compuerta bridada hf 3"clase150	u	1	340,2	340,20
12	MALLA ELECTROSOLDADA 15x15	m^2	23,14	3,24	74,97
13	Disco de desbaste	u	43	3,6	154,80
14	Válvula check (retención), horizontal 3"	u	1	343,75	343,75
15	Válvula check (retención), horizontal 2.5"	u	2	282	564,00
16	Pintura epoxico - carboguard 890	gls	12,3	45	553,50
17	Brida ø2.5" wnrf 150#	u	8	37,5	300,00
18	Válvula mariposa 06"b-b	u	1	489,45	489,45
19	Brida ø2" 150# wnrf	u	4	28,25	113,00
20	Tubería A-53 grb Ø2" SCH 40	m	3	8	24,00
21	Perno 5/8" x 4"	u	8	1,37	10,96
22	Pintura anticorrosiva	gl	1	1,7	1,70
23	Poleas y correas de transmisión	u	2	220,5	441,00
24	Tubería A-53 grb Ø21/2" SCH 40	m	4	8,5	34,00
25	Rejilla de admisión	Kg	30	2,84	85,20

⁴⁵ Anexo 3.11

26	PERNO 3/4" x 4 1/4" CS	u	18	1,80	32,40
27	Reduccionb 2 1/2" a 2" de acero	u	2	4,85	9,70
28	Chimenea de equilibrio (incluye instalacion)	u	1	650	650,00
29	Codo 1 pvc rosc 2"x90° bspt	u	4	3,17	12,68
30	TUB PVC ROSCABLE 2" x 6m 200psi	m	6	7,082	42,49
31	Tablero contrachapado para encofrado 4x8	u	8,4	18,08	151,87
32	Electrodo # 7010 3/16	Kg	42,5	4	170,00
33	Electrodo # 6011 1/8	Kg	18	4	72,00
34	Manómetro de presión 600 psi	u	2	58,76	117,52
35	Cemento	qq	195,065	6,839	1334,05
36	Arena	m^3	20,92	8,929	186,79
37	Ripio	m^3	24,13	8,929	215,46
38	Agua	m^3	12,6	0,92	11,59
	VARILLA 8mm	qq	2,2	42,86	94,29
39	VARILLA 10mm	qq	6,62	42,86	283,73
40	VARILLA 12mm	qq	20,82	42,86	892,35
41	Clavos	Kg	102,86	0,76	78,17
42	Alfajia eucalipto 7x7	m	61,4	0,9	55,26
43	Tiras 2.5 x 2.5 x 250	u	164	0,43	70,52
44	Desinfec. Para madera	gl	2	44,3	88,60
45	Aceite quemado	gl	125,3	0,5	62,65
46	Caballote estandar eternit largo = 9	u	6	7,15	42,90
47	Lija	HOJA	38	0,67	25,46
48	Alambre galvanizado no. 18	Kg	8,34	1	8,34
49	Tabla de monte 0,30m	m	439,2	0,79	346,97
50	Pingos	m	1053,4	0,81	853,25
51	Oxigeno	m^3	69,87	11,7	817,48
52	Yeso	Kg	28,2	0,4	11,28
53	Tiner	gl	2	8,94	17,88
54	Estacas	u	100	0,37	37,00
55	Tira de eucalipto 4x5cm	m	653,9	0,45	294,26
56	Cemento blanco	Kg	36,4	0,26	9,46
57	ADAPTADOR DE PVC E/C DE 75mm	u	1	37,95	37,95
58	Sold. Kalipega 3785cc	gl	3	37,95	113,85
59	Pintura esmalte	gl	9	11,85	106,65
60	Rieles para encofrado	u	234,5	1,13	264,99
			SUMA		70640,48
			12 % IVA		8476,86

				TOTAL	79 117,33
--	--	--	--	--------------	------------------

5.1.1.1.2 Costos de equipos y maquinaria

A continuación se describen los equipos, máquinas y herramientas necesarias para la ejecución de las obras civiles e hidráulicas del proyecto.

Tabla 5.2COSTO DE EQUIPOS Y MAQUINARIA

SISTEMA DE TURBOBOMBEO DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY				
TABLA DE HORAS Y PRECIOS DE EQUIPOS ESTIMADOS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO				
ITEM	DENOMINACION	Horas/Equipo	Costo /hora	C. SOBTOTAL
1	Herramienta menores	6480	0,2	1296
2	Equipo de excavación	720	0,48	345,6
3	Compactadora	18	1,8	32,4
4	Concretera de 1 saco,encofrado	125	2,4	300
5	Baroladora	38,2	2,5	95,5
6	Vibrador	121,2	1	121,2
7	Andamios modulo incluye transporte	55	0,12	6,6
8	Compresor	253,72	1,8	456,696
9	Cortadora dobladora de hierro	8	1	8
10	Equipo de topografía	80	2	160
11	Grúa móvil	16	0,11	1,76
12	Equipo de suelda autógena	45,4	2,54	115,316
13	Torno mecánico	5	5	25
14	Pala mecánica	3	8	24
15	Soldadora eléctrica 300 a	148,5	1	148,5
16	Equipo de oxicorte	9,4	1,1	10,34
17	Amoladora eléctrica	129,4	1,1	142,34
18	Tecle	480,2	0,5	240,1
19	Entenalla	32	0,15	4,8
TOTAL				3 534,152

5.1.1.1.3 Costos de mano de obra [9][40]

Para detallar los costos de la mano de obra se debe especificar a continuación las categorías, los salarios según el registro oficial N° 358 estipulado 2011 como se indica a continuación.

- **De la estructura ocupacional en las Comisiones Sectoriales.-** Se establecen los siguientes niveles en las estructuras ocupacionales de las comisiones sectoriales:

a) **Nivel A.** Jefatura.

b) **Nivel B.** Supervisión.

- B1.- Supervisión General.
- B2.- Supervisión Técnica.
- B3.- Supervisión Operativa.

c) **Nivel C.** Operación.

- C1.- Operación Especializada.
- C2.- Operación Técnica.
- C3.- Operación Básica.

d) **Nivel D.** Asistencia.

- D1.- Asistencia administrativa.
- D2.- Asistencia técnica.

e) **Nivel E.** Soporte.

- E1.- Soporte Administrativo.
- E2.- Soporte Operativo

Tabla 5.3. COSTO DE MANO DE OBRA

SISTEMA DE TURBOBOMBEO DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY					
TABLA DE HORAS Y PRECIOS DE MANO DE OBRA ESTIMADOS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO					
ITEM	DENOMINACION	CATEGORIA	SALARIO REAL x HORA	HOR- HOMBRE	C. SUBTOTAL
1	Peón	E2	1,75	11520,3	20160,53
2	Albañil	E2	1,85	4300,56	7956,04
3	Ayudante de albañil	E2	1,75	502,3	879,03
4	Maestro mayor	C1	2,13	5200,43	11076,92
5	Inspector	D2	2,13	489,5	1042,64
6	Supervisor general	B3	6,61	323,6	2139,00
7	Topógrafo	D2	2,13	192,5	410,03
8	Pintor	E2	1,75	120	210,00
9	Carpintero	E2	1,75	339,6	594,30
10	Ayudante general	E2	1,75	502	878,67
11	Cadenero	E2	1,75	62	108,50
12	Maquinista	D2	2,13	27,4	58,36
13	Maestro soldador de primera eléctrico-autógeno	D2	2,13	58	123,54
14	Ayudante de soldadura	E2	1,75	32,87	57,52
15	Operador de baloradora	C2	1,88	6,4	12,03
16	Técnico extranjero Betta	A	29,7	29	861,30
17	Pulidores (lijadora o pulidora)	E2	1,75	8	14,00
18	Chofer	C2	1,88	36,8	69,18
19	Fierrero	D2	2,13	3,6	7,67
20	Operador de oxicorte	C2	1,88	28,7	53,96
TOTAL					46713,19

5.1.1.1.4 Costos de transporte

En la siguiente tabla se detalla los costos de transporte para cada sistema de equipos, materiales, y del personal que eventualmente tengan que trasladarse fuera del área del proyecto

Tabla 5.4COSTO DE TRANSPORTE

SISTEMA DE TURBOBOMBEO DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY				
TABLA DE PRECIOS DE TRANSPORTE ESTIMADOS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO				
<i>ITEM</i>	<i>DENOMINACION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>VALOR UNITARIO(USD)</i>	<i>C. SUBTOTAL (USD)</i>
1	TRANSPORTE TURBINA GUAYAQUIL - RIOBAMBA	1	300	300
2	TRANSPORTE DE PERSONAL	36	8,5	306
3	Transporte de material de construcción	59	30	1770
4	Transporte de tubería de acero (QUITO - RIOBAMBA)	3	170	510
5	Transporte de tubería de PVC	2,5	30	75
TOTAL				2961

Sumando todas las cantidades anteriores se obtiene que los costos directos totales asciendan al valor de **132325,68USD**.

Tabla 5.5COSTOS DIRECTOS TOTALES

SISTEMA DE TURBOBOMBEO DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY		
TABLA DE COSTOS DIRECTOS ESTIMADOS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO		
<i>ITEM</i>	<i>DENOMINACION</i>	<i>SUB. TOTAL</i>
1	COSTOS DE MATERIALES	79117,33
2	COSTOS DE EQUIPOS	3534,152
3	COSTOS DE MANO DE OBRA	46713,19
4	COSTOS DE TRANSTORTE	2961
TOTAL		132325,68

5.1.1.1.5 Costos indirectos

Son todos los gastos de tipo general no incluidos en los costos directos, pero que intervienen para que el proyecto son considerados como costos indirectos, en estos costos se consideran algunos valores referenciales en relación a los costos directos.

Para detallar los costos indirectos se consideran los siguientes aspectos:

Tabla 5.6COSTOS INDIRECTOS (25%)

SISTEMA DE TURBOBOMBEO DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY			
TABLA DE COSTOS INDIRECTOS ESTIMADOS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO			
ITEM	DENOMINACIÓN	PORCENTAJE	C. SUBTOTAL (USD)
1	Imprevistos costos directos	9%	11909,31
2	Montaje de equipos	3%	3969,77
3	Secretaria	0%	0,00
4	Conserje	0%	0,00
5	Servicios básicos (luz, agua, teléfono)	0%	0,00
6	Utilidad	0%	0,00
7	Diseño ingenieril (automatización y soporte)	9%	11909,31
8	Ingeniero residente	0%	0,00
9	Construcciones provisionales	1%	1323,26
10	Combustible	3%	3969,77
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		25%	33081,42

5.1.1.2 Costos Totales

El costo total del proyecto está representado por la suma de los costos directos e indirectos, por lo tanto:

Tabla 5.7COSTOS TOTALES

SISTEMA DE TURBOBOMBEO DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY		
TABLA DE COSTOS TOTALES ESTIMADOS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO		
ITEM	DENOMINACIÓN	VALOR
1	COSTOS DIRECTOS. (USD)	132325,68
2	COSTOS INDIRECTOS. (USD)	33081,42
	COSTO TOTAL (USD)	165 407,10

El costo total del proyecto se ha considerado en un valor de **165 407,10 USD** las cuales serán financiados completamente por la comunidad mediante el convenio de CADERS .

5.1.2 Costos de Operación y Mantenimiento

5.1.2.1 Costo de Operación mensual

Para estimar los costos de operación mensual del sistema de turbobombeo se considera los siguientes aspectos:

Tabla 5.8 DETALLE DE RUBROS DE GASTOS DE OPERACIÓN MENSUALES

TABLA DE GASTOS ESTIMADOS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO	
RUBRO	COSTO USD
Operador (diurno)	280
Operador (nocturno)	280
Equipo de seguridad	25
Gasto varios	20
Gastos Totales mensuales	605

Por lo tanto los gastos anuales de operación ascienden a **7260USD**.

5.1.2.2 Costo de Mantenimiento anual

Tomando en cuenta el plan de mantenimiento del sistema se necesita anualmente **2380,8 USD** para financiar los costos de la inspección y sustitución de piezas y elementos en función de la periodicidad del plan de mantenimiento del sistema de turbobombeo como se indica en el Anexo 5.1 así como también se indica la relación de costos según la actividad que se debe realizar en el Anexo 5.2.

También es necesario considerar el costo de herramientas necesarias para el mantenimiento continuo del sistema los cuales se detallan a continuación:

Tabla 5.9. DETALLE DE RUBROS DE GASTOS DE HERRAMIENTAS DE MANTENIMIENTO

TABLA DE DETALLE DE RUBROS DE GASTOS DE HERRAMIENTAS DE MANTENIMIENTO			
ITEM	DENOMINACION	UNIDAD	COSTO (USD)
1	Alicate	u	8
2	Destornillador plano	u	4
3	Destornillador estrella	u	4
4	Martillo metálico y de goma	u	14
5	Juego de llaves mixtas	u	35
6	Juego de llaves hexagonales	u	31
7	Pala	u	7
8	Pico	u	10
9	Sierra con arco	u	11
10	Santiago	u	25
11	Linterna	u	18
12	Machete	u	12
13	Barra	u	28
14	Lubricantes(aceite,grasa)	GL	62
15	Desengrasante	GL	12
16	Guaípe	KG	2
17	Rastrillo	u	13
18	Escoba	u	3
19	Trapos limpios	u	10
Costo Total:			309

Este valor será tomado en cuenta como costo al final del primer año de operación del sistema de turbo-bombeo.

Con el análisis anterior se determina un costo total de operación y mantenimiento anual de:

$$7260 + 2380,8 = 9640,8 \text{ USD}$$

5.1.3 Beneficios

En este caso al tratarse de un sistema de turbo-bombeo, para evaluar los beneficios de este sistema se considerará el ahorro que tendría la comunidad al no pagar por la energía utilizada para poner en funcionamiento la bomba hidráulica.

5.1.3.1 Valor residual de salvamento [9]

El valor residual es el valor de los bienes en el último año de vida útil del proyecto. Para calcular este valor se debe tener en cuenta la depreciación o pérdida de valor de los bienes durante el uso en el proyecto, considerando el tiempo de vida útil, tenemos entonces:

- Obras civiles 50 años
- Maquinaria y equipo electromecánico 30 años

5.1.3.1.1 Forma de depreciación [9]

Una forma adecuada de depreciación es considerar que el bien pierde su valor anualmente de manera uniforme, desde su valor inicial en el año de instalación hasta cero en el último año de su vida útil (se llama depreciación lineal).

El valor residual entonces se calcula de la siguiente manera:

$$VR_n = V_i - V_i * [(n)/N] \quad (5.1)$$

Donde:

VR_n = Valor residual en el año n, [USD]

V_i = Valor inicial del bien, en el año de su instalación, [USD].

n = Año en que se calcula el valor residual, [años].

N=Vida útil del bien, [años].

Teniendo en cuenta que el horizonte del proyecto es de 30 años, se tiene:

Valor residual de obras civiles:

$$V_i = 89606.55 \text{ USD}$$

$$N = 50 \text{ años}$$

$$n = 30 \text{ años}$$

$$VR'_{30} = 89606.55 - 89606.55 * \frac{30}{50} = 35842,95 \text{ USD}$$

Valor residual del equipo de turbobombeario:

$$V_i = 75801,32 \text{ USD}$$

$$N = 30 \text{ años}$$

$$n = 29 \text{ años}$$

$$VR''_{30} = 75801,32 - 75801,32 * \frac{29}{30} = 2526,71 \text{ USD}$$

Para otros valores residuales se considera solo la recuperación de tres meses de los costos operativos, en el último año de funcionamiento:

$$VR'''_{30} = 7025 * \frac{3}{12} = 1756,25 \text{ USD}$$

El valor total residual para el año 30 será entonces la suma de todos los valores residuales calculados anteriormente, así:

$$VR_{30} = VR'_{30} + VR''_{30} + VR'''_{30} \quad (5,2)$$

$$VR_{30} = 35842,95 + 2526,71 + 1726,25 = 40095,91 \text{ USD}$$

5.1.4 Elaboración del cuadro de flujo de caja interno

Este cuadro se elabora considerando los siguientes rubros:

Beneficios:

- Valor de ahorro de energía
- Valor residual de salvamento

Costos:

- Inversión inicial
- Costo de operación y mantenimiento

5.1.4.1 Ahorro por no pagar energía eléctrica para accionamiento de bomba

El monto de beneficio se determina calculando el costo de la energía que necesita la bomba.

Según el pliego tarifario de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. que provee de energía eléctrica, se obtienen los siguientes datos:

- Nivel de tensión: General baja y media tensión
- Aplicación: Bombeo de agua - Asistencia social y beneficio público
- Demanda = 3.14 USD/Kw
- Costo Kwh = 0.065 USD/Kwh
- Valor comercial = 1.414 USD

5.1.4.2 Cálculo del consumo mensual para el accionamiento de la bomba hidráulica:

La potencia que necesita la bomba es de 35c.v. o 51,52 Kw según el Data Sheet de la bomba seleccionada ver Anexo 5.3.

Considerando que el sistema funcionara las 24 horas del día, en

El consumo mensual será:

$$720 \text{ h/mes} \times 51,52 \text{ Kw} = 37094,4 \text{ Kwh/mes}$$

5.1.4.2.1 Cálculo de los costos de energía eléctrica:

- Costo de la demanda = $51,52\text{Kw} \times 3,14 \text{ USD/Kw} = 161,77 \text{ USD}$
- Costo del consumo = $37094,4 \text{ Kwh/mes} \times 0.065 \text{ USD/Kwh} = 2.411,136 \text{ USD}$
- Valor comercial a pagar = 1.414,00 USD

Como resultado se tiene:

Costo total mensual por consumo de energía = 2.411,136 USD/mes

Costo total anual por consumo de energía:

$$2.412,00 \text{ USD/mes} \times 12 \text{ mes} = 28.944,00 \text{ USD/año.}$$

Este costo sería lo que el proyecto estaría aportando a la comunidad a manera de ahorro económico.

5.1.4.3 Cálculo del Flujo de caja interno[29]

Tabla 5.10 TABLA DE FLUJO DE CAJA INTERNO

SISTEMA DE TURBOBOMBEO DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY							
FLUJO DE CAJA INTERNO DEL PROYECTO DE TURBOBOMBEO DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY							
Año	BENEFICIOS			COSTOS			Flujo de Caja
	Ahorro Anual de Energía	Valor de Residual	Beneficio Total	Inversión	Operación y Mantenimiento	Costo Total	
1	0	0	0	165408	5425,4	170833,4	- 170.833,40
2	28944	0	28944	0	9640,8	9640,8	19303,2
3	28944	0	28944	0	9640,8	9640,8	19303,2
4	28944	0	28944	0	9640,8	9640,8	19303,2
5	28944	0	28944	0	9640,8	9640,8	19303,2
6	28944	0	28944	0	9640,8	9640,8	19303,2
7	28944	0	28944	0	9640,8	9640,8	19303,2
8	28944	0	28944	0	9640,8	9640,8	19303,2
9	28944	0	28944	0	9640,8	9640,8	19303,2
10	28944	0	28944	0	9640,8	9640,8	19303,2
11	30970,08	0	30970,08	0	9640,8	9640,8	21329,28
12	30970,08	0	30970,08	0	9640,8	9640,8	21329,28
13	30970,08	0	30970,08	0	9640,8	9640,8	21329,28
14	30970,08	0	30970,08	0	9640,8	9640,8	21329,28
15	30970,08	0	30970,08	0	9640,8	9640,8	21329,28
16	30970,08	0	30970,08	0	9640,8	9640,8	21329,28
17	30970,08	0	30970,08	0	9640,8	9640,8	21329,28

18	30970,08	0	30970,08	0	9640,8	9640,8	21329,28
19	30970,08	0	30970,08	0	9640,8	9640,8	21329,28
20	30970,08	0	30970,08	0	9640,8	9640,8	21329,28
21	33137,9856	0	33137,98	0	9640,8	9640,8	23497,18
22	33137,9856	0	33137,98	0	9640,8	9640,8	23497,18
23	33137,9856	0	33137,98	0	9640,8	9640,8	23497,18
24	33137,9856	0	33137,98	0	9640,8	9640,8	23497,18
25	33137,9856	0	33137,98	0	9640,8	9640,8	23497,18
26	33137,9856	0	33137,98	0	9640,8	9640,8	23497,18
27	33137,9856	0	33137,98	0	9640,8	9640,8	23497,18
28	33137,9856	0	33137,98	0	9640,8	9640,8	23497,18
29	33137,9856	0	33137,98	0	9640,8	9640,8	23497,18
30	33137,9856	40095,9	73233,89	0	9640,8	9640,8	63593,09

Se asume que el ahorro de energía incrementa un 5% y 7 % cada 10 años, considerando el alza del precio de la energía eléctrica durante el dicho tiempo se establece un porcentaje del 7%.

Los costos de operación y mantenimiento del primer año corresponden al costo de herramientas de mantenimiento (605 USD) y el costo de 6 meses de operación del sistema (4820,4USD), dando un total de 5425,4 USD.

5.1.5 Evaluación económica [5]

5.1.5.1 Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) [5]

Este consiste en la diferencia de la suma total de los beneficios actualizados, menos la suma total de los costos actualizados, a una misma tasa de descuento i .

La norma de decisión señala que el proyecto será rentable si el valor actual del flujo de beneficios netos que genera es positivo, descontando estos flujos a la tasa de descuento (interés) pertinente que se realiza el proyecto.

La tasa de descuento que se utilizó para el cálculo del VAN es del 9%, según la tasa activa de interés vigentes del Banco Central del Ecuador más una prima de riesgos que en

este caso es el valor por la tasa de inflación que es de 2,77% obteniendo así un valor para el análisis del VAN de 12% .⁴⁶

Todos los factores de valor actual se obtuvieron de las tablas de análisis económico y financiero que se muestran en el Anexo 5.7, de la referencia [5].

El cálculo del VAN se describe en la siguiente tabla:

Relación Beneficio - Costo $i = 12\%$

Tabla 5.11 CÁLCULO DEL VALOR ACTUAL NETO (VAN)

SISTEMA DE TURBOBOMBEO DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY						
CALCULO DEL VAN DE TURBOBOMBEO DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY						
Año	BENEFICIOS			COSTOS		
	Beneficio	Factor del Valor Actual	Beneficio Actualizado	Costo	Factor del Valor Actual	Costo Actualizado
1	0	0,8929	0,00	170833,4	0,8929	152537,14
2	28944	0,7972	23074,16	9640,8	0,7972	7685,65
3	28944	0,7118	20602,34	9640,8	0,7118	6862,32
4	28944	0,7084	20503,93	9640,8	0,7084	6829,54
5	28944	0,6499	18810,71	9640,8	0,6499	6265,56
6	28944	0,5963	17259,31	9640,8	0,5963	5748,81
7	28944	0,547	15832,37	9640,8	0,547	5273,52
8	28944	0,5019	14526,99	9640,8	0,5019	4838,72
9	28944	0,4604	13325,82	9640,8	0,4604	4438,62
10	28944	0,4224	12225,95	9640,8	0,4224	4072,27
11	30970,08	0,3875	12000,91	9640,8	0,3875	3735,81
12	30970,08	0,3555	11009,86	9640,8	0,3555	3427,30
13	30970,08	0,3262	10102,44	9640,8	0,3262	3144,83
14	30970,08	0,2993	9269,34	9640,8	0,2993	2885,49
15	30970,08	0,2475	7665,09	9640,8	0,2475	2386,10
16	30970,08	0,2519	7801,36	9640,8	0,2519	2428,52
17	30970,08	0,2311	7157,19	9640,8	0,2311	2227,99
18	30970,08	0,212	6565,66	9640,8	0,212	2043,85
19	30970,08	0,1945	6023,68	9640,8	0,1945	1875,14
20	30970,08	0,1784	5525,06	9640,8	0,1784	1719,92

⁴⁶ Anexo 5.6

21	33137,98	0,1637	5424,69	9640,8	0,1637	1578,20
22	33137,98	0,1502	4977,33	9640,8	0,1502	1448,05
23	33137,98	0,1378	4566,41	9640,8	0,1378	1328,50
24	33137,98	0,1264	4188,64	9640,8	0,1264	1218,60
25	33137,98	0,116	3844,01	9640,8	0,116	1118,33
26	33137,98	0,1064	3525,88	9640,8	0,1064	1025,78
27	33137,98	0,0976	3234,27	9640,8	0,0976	940,94
28	33137,98	0,0896	2969,16	9640,8	0,0896	863,82
29	33137,98	0,0822	2723,94	9640,8	0,0822	792,47
30	73233,89	0,0754	5521,84	9640,8	0,0754	726,92
BENEFICIO ACTUALIZADO TOTAL (USD)			280258,33	COSTO ACTUALIZADO TOTAL (USD)		241468,70

VAN (12%)= BENEFICIO ACTUALIZADO TOTAL - COSTO ACTUALIZADO TOTAL

$$VAN (12\%) = 280258,33 - 241468,70 = \mathbf{38789,62USD}$$

Como el VAN (12%) es positivo se concluye que el proyecto es rentable.

5.1.5.2 Cálculo de la relación Beneficio – Costo (B/C). [5]

Es la relación de la suma total de los beneficios actualizados divididos entre la suma total de los costos actualizados, a una misma tasa de descuento i .

Teniendo en cuenta que si el cociente es mayor que 1, significa que para la tasa de descuento i , los beneficios son mayores que los costos, y si es menor que 1, los costos son mayores que los beneficios.

La norma señala que debe realizarse el proyecto solo si la relación de beneficios a costos es mayor que la unidad.

La tasa de descuento que se utilizó para el cálculo del VAN es del 9%, según la tasa activa de interés vigentes del Banco Central del Ecuador más una prima de riesgos que en

este caso es el valor por la tasa de inflación que es de 2,77% obteniendo así un valor para el análisis del VAN de 12% , así como se muestra en el Anexo 5.6.

Los valores de los beneficios y costos actualizados a la misma tasa de descuento de 12% se toman los de la Tabla 101.

El cálculo de la relación beneficio /costo está dada por:

$$\frac{B}{C} = \frac{280258,33}{241468,70} = 1,21$$

Ya que este cociente es mayor que 1, significa que para la tasa de descuento $i = 12\%$ los beneficios son mayores que los costos, es decir tenemos otro indicador que el proyecto es rentable y se recupera dentro del período de vida útil en los primeros años la inversión.

5.1.5.3 Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR). [5]

Es la tasa de descuento (interés) que hace que la suma de todos los beneficios sea igual a la suma de todos los costos, actualizados a esa tasa de descuento.

Se deduce que si los costos son iguales a los beneficios, el proyecto solo cubrirá sus costos y no dejará ninguna utilidad o beneficio monetario. En este caso el VAN es igual a cero, y la relación B/C es igual a uno.

La norma de decisión señala que es conveniente realizar el proyecto cuando la tasa de descuento (interés) es menor que la tasa interna de retorno.

Para este proyecto se considera una tasa mínima activa de retorno (TMAR) del 6.58 % que corresponde a la tasa pasiva vigente según el Anexo 5.4.

La TIR se calcula iterativamente, es decir una y otra vez, probando con diversas tasas de interés. En la siguiente tabla se indica el cálculo del VANE para dos tasas de interés: 10% y 15%.

Tabla 5.12. CÁLCULO DEL VAN A DIFERENTES TASAS DE INTERÉS

SISTEMA DE TURBOBOMBEO DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY					
CÁLCULO DEL VAN A DIFERENTES TASA DE INTERÉS					
Año	Flujo de Caja	Tasa 10%		Tasa 15%	
		Factor del Valor Actual	VAN 10%	Factor del Valor Actual	VAN 15%
1	-170.833,40	0,9091	-155304,64	0,8696	-148556,72
2	19303,2	0,8265	15954,09	0,7562	14597,07
3	19303,2	0,7513	14502,49	0,6575	12691,854
4	19303,2	0,683	13184,08	0,5718	11037,57
5	19303,2	0,6209	11985,35	0,4972	9597,55
6	19303,2	0,5646	10898,58	0,4323	8344,77
7	19303,2	0,5132	9906,40	0,3759	7256,07
8	19303,2	0,4665	9004,94	0,3269	6310,21
9	19303,2	0,4241	8186,48	0,2843	5487,89
10	19303,2	0,3856	7443,31	0,2472	4771,75
11	21329,28	0,3505	7475,91	0,215	4585,79
12	21329,28	0,3186	6795,50	0,1869	3986,44
13	21329,28	0,2897	6179,09	0,1625	3466,00
14	21329,28	0,2633	5615,99	0,1413	3013,82
15	21329,28	0,2394	5106,22	0,1229	2621,36
16	21329,28	0,2176	4641,25	0,1069	2280,10
17	21329,28	0,1979	4221,06	0,0929	1981,49
18	21329,28	0,1799	3837,13	0,0808	1723,40
19	21329,28	0,1635	3487,33	0,0703	1499,44
20	21329,28	0,1487	3171,66	0,0611	1303,22
21	23497,18	0,1351	3174,46	0,0531	1247,71
22	23497,18	0,1229	2887,80	0,0462	1085,57
23	23497,18	0,1117	2624,63	0,0402	944,58
24	23497,18	0,1015	2384,96	0,0349	820,06
25	23497,18	0,0923	2168,79	0,0304	714,31
26	23497,18	0,0839	1971,41	0,0264	620,32
27	23497,18	0,0763	1792,83	0,023	540,43
28	23497,18	0,0694	1630,70	0,02	469,94
29	23497,18	0,068	1597,81	0,0174	408,85
30	29010,75	0,0573	1662,31	0,0151	438,06
		VANE 10%	18188,06036	VANE 15%	- 34711,01038

Este cálculo se lo puede abreviar con la ayuda de un gráfico tal como se indica en la Figura 115 Para realizarlo se ubica en el eje de las abscisas la tasa de interés y en las ordenadas el VAN correspondiente. Luego se ubican los puntos del VAN calculado para 10 y 15% a posteriormente se unen dichos puntos encontrando una intersección en el eje de las abscisas. La tasa de interés correspondiente al punto de intersección será el TIR.

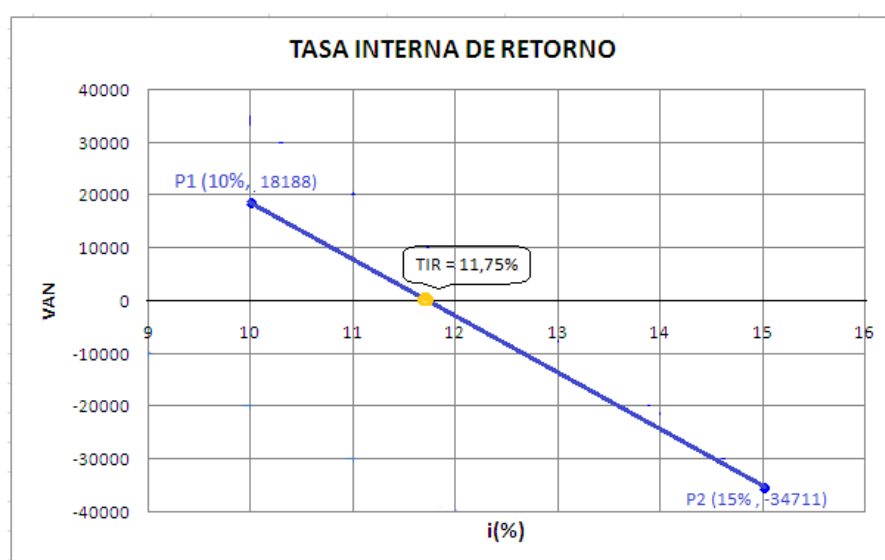


Figura 5.1 Cálculo del TIR

La TIR para este proyecto es del 11.75 %.

Este cálculo ratifica una vez más la factibilidad del proyecto ya que si el TIR es mayor a la tasa de descuento del 6,58%, según la tasa pasiva efectiva referencial por plazo de interés que se muestra en el Anexo 5.6, el proyecto es ejecutable.

5.1.5.4 Cálculo del tiempo de recuperación de la inversión[41]

El análisis económico también tiene como objetivo determinar el número de años en que se recupera la inversión, mediante la resta sucesiva de los flujos netos anuales descontados del monto de la inversión, hasta el punto en que se iguala o sobrepasa dicha inversión.

Los valores necesarios para el cálculo de dicho tiempo son:

- COSTO TOTAL INVERSIÓN = 165 407,10USD
- AMORTIZACION ANUAL POR AHORRO DE ENERGIA = 28944USD

Tabla 5.13 CÁLCULO DEL TIEMPO DE LA RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

SISTEMA DE TURBOBOMBEO DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY				
CÁLCULO DEL TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN				
Año de Recuperación	Ahorro Anual de Energía(Amortización)	Inversión	Operación y Mantenimiento	Recuperación de la inversión
1	0	165408	5425,4	170833,4
2	28944	0	9640,8	151530,2
3	28944	0	9640,8	132227
4	28944	0	9640,8	112923,8
5	28944	0	9640,8	93620,6
6	28944	0	9640,8	74317,4
7	28944	0	9640,8	55014,2
8	28944	0	9640,8	35711
9	28944	0	9640,8	16407,8
10	28944	0	9640,8	-2895,4

Como se puede observar en la tabla 103 para el decimo año el valor de la recuperación es negativo entonces la recuperación de la inversión es en aproximadamente 10 años.

Estos resultados indican que el proyecto es factible económicamente y que muestra un margen de beneficios aceptable para un proyecto de ayuda técnica social.

5.2 Análisis de costos del proyecto de riego por aspersión

El Presupuesto General del Sistema de Riego por aspersión en la comunidad de “San Francisco de Cunuguachay”, incluye el presupuesto individual considerando los estudios técnicos, compra de tuberías y accesorios seleccionados de acuerdo a los estudios técnicos realizados en los capítulos anteriores, trabajos de hormigón, excavación y lo necesario para este proyecto.

Para cada rubro se ha establecido un estudio técnico económico, para este análisis se divide los costos por:

- Sistema de Línea de Conducción de Tanque de presión – Tanque de almacenamiento
- Sistema de Línea de Conducción
- Sistema de Líneas Laterales
- Sistema de Líneas Regantes y Aspersores
- Sistema de Tanque de Almacenamiento

5.2.1 Costos de Inversión

5.2.1.1 Costos Directos.

Son los cargos por concepto de material, de mano de obra y de gastos, correspondientes directamente a la construcción, adquisición de equipos y accesorios y puesta en marcha del sistema de riego por aspersión.

Para analizar los costos directos de nuestro proyecto se consideran los siguientes aspectos:

- Costo de Materiales
- Costo de Mano de Obra
- Costo de Equipos y Maquinaria
- Costos de transporte

5.2.1.1.1 Costos de materiales. [5]

A continuación se puntualiza los costos de los diferentes materiales necesarios para construcción del proyecto. Se debe aclarar que en esta lista están incluidos los materiales necesarios para la obra civil como es el tanque de depósito.⁴⁷

Tabla 5.14. COSTO DE MATERIALES

SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY					
TABLA DE HORAS Y PRECIOS DE MATERIALES ESTIMADOS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO					
ITEM	DENOMINACION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL
1	Abrasaderas metal P/Flex	u	44	1,65	72,60
2	Aceite quemado	gl	80	0,446	35,68
3	Adap. M PVC 32mm a 1",1 1/4"	u	10	0,25	2,50
4	Adap.M PVC 25mm a 1",1 1/4"	u	8	0,28	2,24
5	Adaptador PVC E/C H 3/4"	u	40	0,25	10,00
6	Adaptador PVC E/C de 1"a 1 1/2"	u	7	1,39	9,73
7	Adaptador PVC H 63mm a 2"	u	2	1,58	3,16
8	Adaptador PVC M 40mm a 1 1/4"	u	4	0,5	2,00
9	Adaptador PVC M 40mm a 3/4"	u	2	1,7	3,40
10	Agua	m ³	4,03	0,92	3,70
11	Alambre	Kg	7,2	0,893	6,43
12	Arena	m ³	7,93	8,929	70,81
13	Aspersor Xcel wobbler # 6	u	22	6,36	139,92
14	Bayoneta P/val riego AR 3/4"	u	22	4,15	91,30
15	Cal	Kg	45,47	0,221	10,05
16	Cemento	qq	73	5,839	426,25
17	Clavos	Kg	40	0,679	27,16
18	Codo PVC 45x25mm E/C	u	5	0,22	1,10
19	Codo PVC 45x40mm E/C	u	5	1,07	5,35
20	Codo PVC 90x40mm E/C	u	3	1,22	3,66
21	Codo de 45x32mm E/C	u	8	0,72	5,76
22	Collar derivacion 40mm a ¾	u	1	1,7	1,70
23	Collar derivacion 3/4"	u	29	1,042	30,22
24	Estacas de madera	u	20	0,33	6,60
25	Filtro de anillos Mesh 120	u	1	184,8	184,80
26	Guaype	lb	25	0,195	4,88
27	Kit conector PVC RH ½	u	22	1,85	40,70

⁴⁷ Anexo 5.1 -5.2

28	Lija	hoja	15	0,33	4,95
29	Pingos	m	540	0,723	390,42
30	Polilimpia	gl	3	22,58	67,74
31	Reduc. PVC 63mm a 40mm	u	1	0,91	0,91
32	Reduc.PVC 90mm a 63mm	u	1	2,78	2,78
33	Reductor largo PVC 40mm a 32mm	u	4	2,19	8,76
34	Reductor largo PVC 63mm a 40mm	u	2	2,05	4,10
35	Regulador de presion RH 10psi	u	13	19,85	258,05
36	Ripio	m^3	9,15	8,929	81,70
37	Sold. Kalipega 3785cc	gl	3	37,95	113,85
38	Tabla de Monte 0.30m	m	402	0,705	283,41
	Tapon PVC H 30mm,25mm	u	4	0,305	1,22
39	Tapon PVC H 40mm	u	1	0,48	0,48
40	Tee red. PVC E/C 40mm a 25mm	u	2	2,18	4,36
41	Tee red. PVC E/C 40mm a 32mm	u	2	2,19	4,38
42	Tiras de Eucalipto	m	90	0,384	34,56
43	Tuberia Flex de 3/4" 0,32Mpa	m	440	0,97	426,80
44	Tuberia PVC 25mmx6m E/C 1Mpa	u	80	4,3	344,00
45	Tuberia PVC 32mmX6m E/C 1,25Mpa	u	69	6,7	462,30
46	Tuberia PVC 40mmx6m E/C 1,25Mpa	u	53	10,5	556,50
47	Union Roscado H 3/4"	u	23	0,43	9,89
48	Union UNIV. PVC Rosc 1 1/2"	u	5	5,09	25,45
49	Union UNIV. PVC Rosc 1 1/4"	u	4	3,65	14,60
50	Union UNIV. PVC Rosc 1"	u	4	1,58	6,32
51	Val. Bola c/UNIV soldable E/C	u	4	4,79	19,16
52	Val. Maripoza GATILLO con Brida soldable 90mm	u	1	123,68	123,68
53	Val. acople rapido de 3/4"	u	22	9,5	209,00
54	Val. de Aire VBK RM 3/4"	u	9	9,66	86,94
55	Val. de bola PVC c/univ 25mm	u	2	4,24	8,48
56	Varilla 10mm	qq	4,5	42,86	192,87
57	Varilla 12mm	qq	12,9	42,86	552,89
58	Varilla 8mm	qq	2	42,86	85,72
59	Piola	rollo	1	3	3,00
60	sold. PVC Polipega 946cc	u	1	11,69	11,69
			SUMA		5600,28
			12 % IVA		672,03
			TOTAL		6272,31

5.2.1.1.2 Costos de Equipos y maquinaria.

A continuación se describen los equipos, máquinas y herramientas necesarias para la ejecución de las obras civiles e hidráulicas.

Tabla 5.15 COSTO DE EQUIPOS Y MAQUINARIA

SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY				
TABLA DE HORAS Y PRECIOS DE EQUIPOS ESTIMADOS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO				
ITEM	DENOMINACION	Horas/Equipo	Costo /hora (USD)	C. SOBTOTAL (USD)
1	Herramientas menores	120	0,2	24
2	Equipo de excavación	98	0,48	47,04
3	Compactadora	18	1,8	32,4
4	Concretera de un saco + encofrado	50	2,4	120
5	Cortadora dobladora de hierro	8	1	8
6	Equipo de topografía	24	3	72
7	Taladro a Batt.12V Bosh	6	1,25	7,5
8	Terraaja	9	1,56	14,04
9	Vibrador	43	1,15	49,45
10	Cizalla	4	0,28	1,12
11	Manómetro	6	0,16	0,96
12	Entenalla	32	0,15	4,8
TOTAL				381,31

5.2.1.1.3 Costos de Mano de obra

A continuación se va a detallar los costos de mano de obra, según los salarios del registro oficial N° 358 estipulado 2011 como se indica a continuación.

Tabla 5.16COSTO DE MANO DE OBRA

SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY					
TABLA DE HORAS Y PRECIOS DE MANO DE OBRA ESTIMADOS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO					
ITEM	DENOMINACION	CATEGORIA	SAL. REAL x HORA (USD)	HOR-HOMBRE (USD)	C. SUBTOTAL (USD)
1	Topógrafo	D2	2,13	18	38,34
2	Técnico Agricultor	C1	1,75	17	21,25
3	Maestro mayor	C1	2,13	120	255,6
4	Albañil	E2	1,75	120	150
5	Ayudante	E2	1,75	101	126,25
6	Peón	E2	1,75	298	372,5
TOTAL					1231,94

5.2.1.1.4 Costos de transporte.

En la siguiente tabla se detalla los costos de transporte para cada sistema de equipos, materiales, y del personal que eventualmente tengan que trasladarse fuera del área del proyecto

Tabla 5.17COSTO DE TRANSPORTE

SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY				
TABLA DE PRECIOS DE TRANSPORTE ESTIMADOS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO				
ITEM	DENOMINACION	UNIDAD	VALOR UNITARIO(USD)	C. SUBTOTAL (USD)
1	Sistema de Línea de Conducción de Tkpres/ Tk deposito	1	116	116
2	Sistema de Línea de Conducción	1	264,24	264,24
3	Sistema de Líneas Regantes y Aspersores	1	107,35	107,35
4	Sistema de Tanque de Almacenamiento	1	500,88	500,88
TOTAL				988,47

Sumando todas las cantidades anteriores se obtiene que los costos directos totales asciende al valor de 8874,03USD.

Tabla 5.18COSTOS TOTALES

SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY		
TABLA DE COSTOS DIRECTOS ESTIMADOS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO		
<i>ITEM</i>	<i>DENOMINACION</i>	<i>SUB. TOTAL</i>
1	COSTOS DE MATERIALES	6272,31
2	COSTOS DE EQUIPOS	381,31
3	COSTOS DE MANO DE OBRA	1231,94
4	COSTOS DE TRANSTORTE	988,47
<i>TOTAL</i>		8874,03

6.2.1.2 Costos indirectos.

Son todos los gastos de tipo general no incluidos en los costos directos, pero que intervienen para que el proyecto son considerados como costos indirectos, en estos costos se consideran algunos valores referenciales en relación a los costos directos.

Para detallar los costos indirectos se consideran los siguientes aspectos:

Tabla 5.19COSTOS INDIRECTOS (25%)

SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY			
TABLA DE COSTOS INDIRECTOS ESTIMADOS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO			
<i>ITEM</i>	<i>DENOMINACIÓN</i>	<i>PORCENTAJE</i>	<i>C. SUBTOTAL (USD)</i>
1	Imprevistos costos directos	9%	798,66
2	Montaje de equipos	3%	266,22
3	Secretaria	0%	0
4	Conserje	0%	0
5	Servicios básicos (luz, agua, telf)	0%	0
6	Utilidad	0%	0
7	Diseño ingenieril (automatización y soporte)	9%	798,66

8	Ingeniero residente	0%	0
9	Construcciones provisionales	1%	88,74
10	Combustible	3%	266,22
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		25%	2218,51

5.2.1.2 Costos Totales.

El costo total del proyecto está representado por la suma de los costos directos e indirectos, por lo tanto:

Tabla 5.20. COSTOS TOTALES

SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION DE SAN FRANCISCO DE CUNUGUACHAY		
TABLA DE COSTOS TOTALES ESTIMADOS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO		
COSTO TOTAL		
ITEM	DENOMINACIÓN	VALOR
1	COSTOS DIRECTOS. (USD)	8874,03
2	COSTOS INDIRECTOS. (USD)	2218,51
	COSTO TOTAL (USD)	11092,54

El costo total del proyecto se ha considerado en un valor de 11092,54 USD los cuales serán financiados completamente por la comunidad mediante el convenio de CADERS.

Cabe recalcar que en este proyecto no se toma en cuenta el mantenimiento ya que la comunidad conjuntamente con la capacitación del Técnico agricultor se comprometen a realizar periódicamente la limpieza y el mantenimiento respectivo a cada uno de los elementos que conforman este proyecto.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Sistema de turbobombeo

6.1.1 Conclusiones

- Se seleccionó una turbina tipo Pelton, porque el sistema cuenta con una caída grande (150 m) y un caudal (16.5 l/s), así mismo se escogió bombas de desplazamiento positivo, porque trabajan a bajas revoluciones (500rpm), bombean caudales (2 l/s) a altas presiones (300 m.c.a.).
- La tubería de presión del sistema de turbobombeo es de Acero A-53 Gr. B SCH 40 de 6" sin costura, se escogió este tipo de material por su resistencia a la presión interna puesto que debe soportar 150m.c.a. hasta la casa de máquinas.
- Para la tubería de descarga se utilizarán dos materiales, inicialmente acero A-53 Gr. B SCH 40 para que soporte una presión interna 160 m.c.a. y grandes variaciones de pendiente. A continuación se instalará tubería de PVC debido a que se adapta mejor a la forma del terreno y no necesita resistir altas presiones ni cambios bruscos de pendiente y una presión interna de 110 m.c.a.
- El tanque de almacenamiento está diseñado para almacenar 360 m³, considerando un tiempo de llenado de un día.
- El costo final del Sistema de Turbo-bombeo para la comunidad de San Francisco de Cunuguachay es de 165,407.10 USD
- A partir del análisis económico se demostró que el proyecto es rentable, pues se encontró una relación beneficio-costos de **1.21**, con una tasa de retorno de 11,75 % que es mayor a la tasa del 6.58 % que corresponde a la tasa pasiva vigente en el país, recuperando así la inversión en **10 años**

- Con la instalación de este sistema la comunidad de San Francisco de Cunuguachay ahorraría 28.944 USD anuales, por no pagar la energía eléctrica necesaria para mover la bomba hidráulica.

6.1.2 Recomendaciones

- La apertura y cierre de la válvula de control y del inyector se debe realizar en forma lenta para evitar el golpe de ariete.
- Se recomienda construir un cerramiento alrededor del tanque de almacenamiento para evitar cualquier accidente.
- Para un mejor funcionamiento del sistema de turbobombeo se recomienda seguir las instrucciones del plan de mantenimiento a fin de prevenir daños en equipos, obras civiles y así evitar costos de reparación posteriores y paralizaciones imprevistas.
- Se recomienda mantener un contacto permanente con la empresa fabricante Betta Hidroturbinas de los equipos de turbobombeo, a fin de asesorarse correctamente sobre el mantenimiento y posibles reparaciones de las máquinas.
- Es importante que la comunidad tenga en regla todos los documentos relacionados con adjudicaciones de agua y permisos para la construcción de obras civiles.
- Es importante que se capacite a los moradores de la comunidad de San Francisco de Cunuguachay para que puedan mantener en buen estado las instalaciones.
- Deben conocerla importancia y los beneficios que les va a brindar este sistema con un plan de difusión y capacitación.

6.2 Sistema de Riego por aspersión

6.2.1 Conclusiones

- Los requerimientos hídricos de los cultivos no han sido determinados experimentalmente, por lo cual es necesario estimarlos a través del concepto de evapotranspiración potencial o de un cultivo de referencia.
- Para el adecuado diseño fue necesario realizar el levantamiento topográfico del campo a irrigar, para realizar un patrón de cultivos y un padrón de usuarios, además de un análisis físico-químico del suelo que permite conocer el porcentaje de humedad y empobrecimiento del mismo, también el análisis físico-químico del agua a irrigar que es indispensable por el grado de contaminantes que posee.
- Es suficiente con el caudal de 0.3 l/s de la toma de Pilispugyo hacia un tanque reservorio para satisfacer las necesidades de riego de las 22 parcelas durante 7 horas seguidas.
- Para el proyecto se ha tomado como Cultivo Patrón a la Alfalfa y Papa, por poseer mayor profundidad de la Zona Radicular, entre los tipos de cultivos que se siembran en la Zona de San Francisco; debido a esto el más crítico es la alfalfa que requiere un gran aporte de agua para su desarrollo y crecimiento.
- El tiempo máximo permisible de riego para la permanencia del aspersor en un punto es de una hora y cuarenta minutos, luego de este lapso, el agricultor debe cambiar de posición al aspersor de acuerdo al marco de riego recomendado por el fabricante del aspersor.
- En el análisis de calendario de riego para la alfalfa se determinó que para el de abril la reposición de agua para el suelo no es necesario ya que contamos con un valor de sobre precipitación de 0.6 mm, en cambio para los meses de agosto y septiembre es donde se deben reponer una cantidad de agua de 3.3 y 3.5 mm respectivamente.

- El sistema diseñado tiene un costo elevado 11092.54 \$, donde serán 22 beneficiarios del proyecto los cuales se autofinanciarán para su instalación, comprometiéndose con la capacitación del técnico agricultor para su correcta operación y mantenimiento.
- De acuerdo con la topografía del sitio y la existencia de pendientes se vio la necesidad de regular la presión en puntos claves a través de reguladores de presión de 10 psi para que el agua llegue a la presión requerida por el aspersor y tenga su mayor diámetro de riego.
- La selección de los aspersores, se realizó en función de las propiedades hídricas y topográficas del terreno, tipo de cultivos y condiciones climatológicas del sector del riego; contando con el asesoramiento de los técnicos de ISRARIEGO y del Centro Experimental de Riego ESPOCH, que brinda la información requerida y a su vez equipos que poseen buenas características garantizando el buen funcionamiento del proyecto.
- El tipo de distribución a utilizar en el proyecto es la ramificada a gravedad, de modalidad semifija ya que es la más utilizada en los proyectos de riego.
- Para seleccionar el diámetro y tipo de material de la tubería, se determinó las presiones en cada uno de los puntos, en función de las características topográficas del terreno, utilizando las ecuaciones hidráulicas; estos resultados se han comparado con las presiones de trabajo de las tuberías dado por los fabricantes en los respectivos catálogos, garantizando de esta forma una selección confiable y segura.
- Se seleccionó tubería de PVC (cloruro de polivinilo), porque tienen la ventaja de ser inmunes a la agresividad del agua por factores como la corrosión, sulfatos y cloruros. Además tiene alta resistencia al impacto, superficie interior lisa, fácil de instalar, impermeable en sus uniones, su costo es bajo en relación a otros materiales

y su instalación resulta más efectiva enterradas debido a que las líneas están presurizadas evitando el movimiento de las mismas.

- El volumen calculado del tanque de almacenamiento es de 40 m³ con material de hormigón armado recomendado para tanques de almacenamiento de agua para riego.

6.2.2 Recomendaciones

- El proyecto de riego por aspersión se podrá ejecutar siempre y cuando está toma tenga su respectiva adjudicación en la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA)
- La mejor garantía de durabilidad en los depósitos de almacenaje de agua radica en la confección de hormigón muy compacto, cuya dosificación tenga una baja relación de agua - cemento.
- No dejar caer el tubo de PVC, ya que este puede golpearse contra una roca o cemento, por lo que puede astillarse. Aun cuando el tubo no se rompa, puede sufrir agrietamientos y podría explotar por la presión normal del agua.
- Antes de comenzar a funcionar el sistema se debe hacer un lavado de las tuberías, sin acoplar los aspersores y de esta manera evitar que obstrucciones taponen los aspersores.
- Revise periódicamente el visor del filtro de malla evitando que este se obstruya y deteriore su malla.

- Asegurarse que la Tubería de PVC en la descarga se encuentre completamente enterrada para evitar el deterioro por los rayos ultravioleta y posibles daños por parte de gente ajena al proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [2] PLASTIGAMA., Catálogo de Tuberías y Accesorios. Ecuador: 2010. pp. 37
(Catálogo).
- [3] DIPAC. Catálogo de Estructura y Tuberías de Acero. Ecuador: 2011. pp. 5
(Catálogo).
- [4] MATAIX, C. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, 2da.ed. México: Castillo, 1982. pp. 113, 206, 175, 486, 493, 194-195
- [5] ITDG. Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas. Lima: ITDG, 1995.
pp. 56-62 ,74-75, 125-126, 52, 63-69, 74-81, 127.
- [6] ENCINAS M. Turbomáquinas Hidráulicas – Principios Fundamentales. México: Limusa, 1975. pp. 130-134.
- [7] NICOLA, G. Las Microcentrales Hidráulicas. Ambato: C.C.E, 1987. pp.120-123.
- [9] ORTIZ, R. Pequeñas Centrales Hydroeléctricas. Bogotá: McGraw-Hill, 2001. pp. 204-205, 141, 135, 205-209, 238-271.
- [10] SHIGLEY, J. Diseño en Ingeniería Mecánica. 5ta.ed. México: McGraw-Hill, 1998.
pp.198-200
- [11] Saldarriaga, V. Hidráulica de Tuberías, 2^{da} ed. Colombia: Mc Graw Hill, 1998. pp. 23-67
- [12] TIMOSHENKO, G. Mecánica de Materiales. 2da.ed. México: Iberoamérica. 1986.
pp. 253
- [14] ITDG. Nuevo Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas. 2da.ed. Lima: ITDG, 2008. pp. 56-62 ,74-75, 125-126.

- [15] McNAUGHTON, J. Bombas: Selección, uso y mantenimiento. México: McGraw-Hill, 1989. pp. 59
- [16] OLADE(Organización Latinoamericana de Energía). Apuntes para un Manual Técnico de Diseño, Estandarización y Fabricación de Equipos para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas – Turbinas Pelton. Lima: Asociación Gráfica Educativa, 1988. pp. 7-10, 12,16-19, 25
- [17] HICKS, T. Bombas, su Selección y Aplicación. México: Continental, 1974. pp. 530
- [18] CASTRO, R. Diseño e Implementación de un Sistema de Bombeo para Riego en la Comunidad de Langos Chico Provincia del Chimborazo, ESPOCH, 2001. pp. 267-270.(Tesis)
- [19] GOULDS GPM 7. Catálogo selección de Bombas, tuberías y accesorios. Ecuador: 2010. pp. 56-67
- [20] CRANE. Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. México: McGraw-Hill, 1989. pp. 158-160.
- [21] RIOFRÍO, P. Micro Hidroenergía. Riobamba: ESPOCH, 2007. pp. 28-35
- [22] SAER ELECTROPOMPE. Catálogo de Selección de Bombas , Ecuador: 2010. pp. 67-69.
- [23] HUDSON, R. Manual del Ingeniero. México: Limusa, 1976. pp. 134-141.
- [25] ZUBICARAY, M. Energía Hidroeléctrica – Turbinas y Plantas Generadoras. 2da.ed. México: Limusa. 1977. pp. 276
- [26] ESTEVEZ, C. Diseñar un Sistema Semiautomático de Riego por Aspersión. Riobamba: ESPOCH, 2003. pp. 145.
- [27] BRINKER, R. Topografía Elemental. México: Pax, 1969. pp. 686.
- [29] LEON, J. Memorias del Curso de Riego por Aspersión y Goteo. Riobamba: Auditorio de la ESPOCH, 2004. pp. 34-40, 52,59.(Documento)

- [30] TARJUELO, J. El Riego por Aspersión y su Tecnología. 2da.ed. México: Mundi-Prensa, 1999. pp.20-76,80-95.
- [31]PACHECO, R. Proyecto de Riego por Aspersión para la Comuna de San Ramón – Provincia de Cotopaxi. 2007, ESPE(Tesis).
- [32] GARCIA, I. Sistemas de Riego por Aspersión y Goteo, México: Trillas, 1997. pp.28-65.
- [33] FERNÁNDEZ, J. Manual Práctico con todas las Técnicas más Modernas. Barcelona: DE VECCHI, 1989. pp. 354
- [34] JOSEF, D. El Riego, 8^{va} ed. México: Continental, 1985.
- [35] LARBURU, N. Máquinas Prontuario. Técnicas Máquinas Herramientas. 11^{va} ed. España: Parafino, 1999.pp. 56,78-81,90
- [36] NAANDAN, T. Catalogue Irrigation Systems, Software – Versión 7.0, Israel: 2001. pp. 76-89.
- [37] SOTELO ,A. Hidráulica General. 10ma.ed. México: Limusa, 1989.
- [38] LOZANO, M. Guía Práctica para el Riego, E.U.A. 2003.
- [39] FERNÁNDEZ, J., Manual Práctico con todas las Técnicas más Modernas, Barcelona: DE VECCHI, 1989.
- [40] TARKIN, V. Ingeniería de la Economía. 2da.ed. México: Limusa, 2002. pp.23-34

BIBLIOGRAFÍA

- ORTIZ, R. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Bogotá: McGraw-Hill, 2001.
- ITDG. Nuevo Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas. 2da.ed. Lima: ITDG, 2008.
- MATAIX, C. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. 2da.ed. México: Castillo. 1982.
- MCDONALD, Mecánica de Fluidos. 2da.ed. México: Harla, 1988

- ZUBICARAY, M. Energía Hidroeléctrica – Turbinas y Plantas Generadoras. México: Limusa, 1977.
- OLADE(Organización Latinoamericana de Energía). Apuntes para un Manual Técnico de Diseño, Estandarización y Fabricación de Equipos para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas – Turbinas Pelton. Lima: Asociación Gráfica Educativa, 1988.
- STREETER Víctor, Mecánica de fluidos. 3ra.ed. México: Harla, 1985
- SHIGLEY, J. Diseño de Elementos de Máquinas. 3ra.ed. México: McGraw – Hill, 1985.
- RIOFRÍO, P. Micro Hidroenergía. Riobamba: ESPOCH, 2007.
- CRANE. Flujo de Fluidos en Válvulas, accesorios y tuberías. México: McGraw-Hill, 1989.
- MARKS. Manual del Ingeniero Mecánico. 9na.ed. México: McGraw-Hill, 2001.
- TARJUELO, J. El Riego por Aspersión y su Tecnología. 2da. ed. México: Mundi-Prensa, 1999.
- INEN(Instituto Ecuatoriano de Normalizacion). Código de Dibujo Técnico Mecánico: Serie normalización. Quito: Gutemberg, 1981
- LEON, J. Memorias del Curso de Riego por Aspersión y Goteo. Riobamba: Auditorio de la ESPOCH, 2004.(Documento)
- SOTELO, G. Hidráulica General. 10ma.ed. México: Limusa, 1989
- GARCIA, I. Sistemas de Riego por Aspersión y Goteo. 2da.ed. México: Trillas, 1997
- JOSEF, D. El Riego. 8^{va} ed. México: Continental, 1985.

LINKOGRAFÍA

NORMAS DE CONSTRUCCIÓN

http://www.obras.df.gob.mx/normatividad/normas_construccion/Libro%202%20Tomo%20II.pdf
2011-01-18

FORMULARIO TÉCNICO DE BETTAHIDROTURBINAS

<http://www.bettahidroturbinas.com.br/produtos> (Manual de instalación, operación y mantenimiento de Bettahidroturbinas).
2011-01-21

ECUACIONES EN GENERAL

http://www.tutiempo.net/silvia_larocca/Temas/ecuaciones.htm.
2011-02-02

TASAS DE INTERÉS VIGENTES DEL BANCO CENTRAL DEL ECUADOR

<http://www.bce.fin.ec/docs.php?path=documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>

2011-03-16

CLASES DE RIEGO POR ASPERSIÓN

[http://www.elriego.com/informa_te/riego_agricola/fundamentos_riego/riego_asper
sion.htm](http://www.elriego.com/informa_te/riego_agricola/fundamentos_riego/riego_asper
sion.htm)

2011-01-29

PLAN TARIFARIO DE LA EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A. (EERSA)

<http://www.eersa.com.ec/pliego-tarifario>

2011-04-11